

ISSN 2523-6776

Volumen 4, Número 14 — Julio — Diciembre - 2020

# Revista de Ingeniería Tecnológica

**ECORFAN®**

## **ECORFAN®**

### **Editor en Jefe**

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

### **Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

### **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

### **Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

### **Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

### **Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

### **Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

### **Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

**Revista de Ingeniería Tecnológica**, Volumen 4, Número 14, de Julio a Diciembre 2020, es una revista editada semestralmente por ECORFAN-Taiwán. Taiwan, Taipei. YongHe district, ZhongXin, Street 69. Postcode: 23445. WEB: [www.ecorfan.org/taiwan](http://www.ecorfan.org/taiwan), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editor en Jefe: SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC. ISSN: 2523-6776. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Diciembre 2020.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

# **Revista de Ingeniería Tecnológica**

## **Definición del Research Journal**

### **Objetivos Científicos**

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas de innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales , diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas.

ECORFAN-México S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

### **Alcances, Cobertura y Audiencia**

Revista de Ingeniería Tecnológica es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Taiwan, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales , diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias de Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

## **Consejo Editorial**

HERNANDEZ - ESCOBEDO, Quetzalcoatl Cruz. PhD  
Universidad Central del Ecuador

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD  
University of Bristol

NAZARIO - BAUTISTA, Elivar. PhD  
Centro de Investigacion en óptica y nanofisica

MAYORGA - ORTIZ, Pedro. PhD  
Institut National Polytechnique de Grenoble

CASTILLO - LÓPEZ, Oscar. PhD  
Academia de Ciencias de Polonia

HERRERA - DIAZ, Israel Enrique. PhD  
Center of Research in Mathematics

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD  
University of Southampton

CARBAJAL - DE LA TORRE, Georgina. PhD  
Université des Sciences et Technologies de Lille

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD  
Intitut National Polytechnique Toulouse

DECTOR - ESPINOZA, Andrés. PhD  
Centro de Microelectrónica de Barcelona

## **Comité Arbitral**

BARRON, Juan. PhD  
Universidad Tecnológica de Jalisco

CASTAÑÓN - PUGA, Manuel. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD  
Universidad de Guadalajara

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Samuel. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

ARREDONDO - SOTO, Karina Cecilia. PhD  
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD  
Universidad de Guanajuato

BAUTISTA - SANTOS, Horacio. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

CASTILLO - TOPETE, Víctor Hugo. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

GONZÁLEZ - REYNA, Sheila Esmeralda. PhD  
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

CRUZ - BARRAGÁN, Aidee. PhD  
Universidad de la Sierra Sur

CORTEZ - GONZÁLEZ, Joaquín. PhD  
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

## **Cesión de Derechos**

El envío de un Artículo a Revista de Ingeniería Tecnológica emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Taiwan considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra

## **Declaración de Autoría**

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación del Artículo y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor del Artículo.

## **Detección de Plagio**

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandara a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Artículo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

## **Proceso de Arbitraje**

Todos los Artículos se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homologo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

## **Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación**

### **Área del Conocimiento**

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales, diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología

## **Presentación del Contenido**

Como primer artículo presentamos, *Alarma inteligente para prevenir el robo de bicicletas en la Ciudad de Oaxaca*, por MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, JIMÉNEZ-ROCHA, Alejandra, HERNANDEZ-ABREGO, Anayansi Cristina y SÁNCHEZ-DIAZ, Clara Aurora, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Oaxaca, como segundo artículo presentamos, *Prototipo para el análisis del crecimiento vehicular y de estaciones de monitoreo atmosférico*, por ROMO-GONZALEZ, Ana Eugenia & VILLALOBOS-ALONZO, María de los Ángeles, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Jalisco, como tercer artículo presentamos, *Desarrollo de un sistema inalámbrico escalable de medición de humedad del suelo en un cultivo de vid*, por ORTEGA-CORRAL, César, EATON-GONZÁLEZ, B. Ricardo, LÓPEZ CRUZ, Florencio, DÍAZ-SANTANA ROCHA, Laura Rocío, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Tijuana, como último artículo presentamos, *Propuesta de un sistema de comunicación inalámbrico para una red de sensores bajo el agua en tiempo real aplicado a un sistema ROV*, por REYES-DE COSS, José Cuauhtémoc, RODRÍGUEZ-BLANCO, Marco Antonio y SÁNCHEZ-LARA, Rafael, con adscripción en la Universidad Autónoma del Carmen.

## Contenido

Artículo	Página
<b>Alarma inteligente para prevenir el robo de bicicletas en la Ciudad de Oaxaca</b> MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, JIMÉNEZ-ROCHA, Alejandra, HERNANDEZ- ABREGO, Anayansi Cristina y SÁNCHEZ-DIAZ, Clara Aurora <i>Instituto Tecnológico de Oaxaca</i>	1-12
<b>Prototipo para el análisis del crecimiento vehicular y de estaciones de monitoreo atmosférico</b> ROMO-GONZALEZ, Ana Eugenia & VILLALOBOS-ALONZO, María de los Ángeles <i>Universidad Tecnológica de Jalisco</i>	13-19
<b>Desarrollo de un sistema inalámbrico escalable de medición de humedad del suelo en un cultivo de vid</b> ORTEGA-CORRAL, César, EATON-GONZÁLEZ, B. Ricardo, LÓPEZ CRUZ, Florencio, DÍAZ-SANTANA ROCHA, Laura Rocío <i>Universidad Tecnológica de Tijuana</i>	20-30
<b>Propuesta de un sistema de comunicación inalámbrico para una red de sensores bajo el agua en tiempo real aplicado a un sistema ROV</b> REYES-DE COSS, José Cuauhtémoc, RODRÍGUEZ-BLANCO, Marco Antonio y SÁNCHEZ-LARA, Rafael <i>Universidad Autónoma del Carmen</i>	31-39

## Alarma inteligente para prevenir el robo de bicicletas en la Ciudad de Oaxaca

### Smart alarm to prevent bike theft in Oaxaca City

MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela†\*, JIMÉNEZ-ROCHA, Alejandra, HERNANDEZ-ABREGO, Anayansi Cristina y SÁNCHEZ-DIAZ, Clara Aurora

*Tecnológico Nacional de México, Campus Oaxaca. Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030; Oaxaca de Juárez, Oaxaca.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Maricela, Morales-Hernández* / **ORC ID:** 0000-0002-3521-2041, **CVU CONACYT ID:** 731036

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Alejandra, Jiménez-Rocha* / **ORC ID:** 0000-0002-4394-8454, **CVU CONACYT ID:** 1063629

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Anayansi Cristina, Hernandez-Abrego* / **ORC ID:** 0000-0002-8882-4842, **CVU CONACYT ID:** 748036

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Clara Aurora, Sánchez-Díaz* / **ORC ID:** 0000-0002-1149-454X, **CVU CONACYT ID:** 787254

**DOI:** 10.35429/JTEN.2020.14.4.1.12

Recibido 03 de Junio, 2020; Aceptado 30 Octubre, 2020

#### Resumen

El objetivo del presente artículo es presentar el desarrollo de un prototipo de alarma inteligente que coadyuve en la prevención del robo de bicicletas en la Ciudad de Oaxaca basado en un sistema programable. El proyecto surge como una necesidad de protección y seguridad de la bicicleta como medio de transporte; ya que los robos de bicicletas estacionadas en vía pública en la ciudad de Oaxaca aumentan día a día. Como, por ejemplo, Carrera (2018) hace notar que la autoridad responsable no tiene una participación decidida en el abatimiento de robos a bicicleta y que son los ciudadanos los que por sus propios medios las buscan y no siempre con éxito. La investigación se llevó a cabo en dos fases, en el presente documento se presenta la primera fase, en la cual, se diseñaron e implementaron dos prototipos funcionales de la alarma inteligente. La metodología de desarrollo aplicada es la de prototipos; ya que ésta facilita la comprensión de las necesidades de los usuarios. Con la presente investigación se espera sentar las bases para continuar con la mejora del prototipo y de este modo, se ofrezca a la sociedad una opción de protección de su patrimonio.

**Alarma inteligente, Sistema programable, Antirrobo**

#### Abstract

The objective of this article is to present the development of a smart alarm prototype that will help prevent bicycle theft in Oaxaca City, which is based on a programmable system. The project arises as a need for protection and safety of the bicycle as a means of transportation; since the thefts of bicycles parked on streets in Oaxaca City increase day by day. As, for example, Carrera (2018) notes that the responsible authority does not have a decisive participation in the abatement of bicycle thefts and that it is the citizens who seek them out by their own means and they not always get success. The research was carried out in two phases, in this document the first phase is presented, in which two functional prototypes of the smart alarm were designed and implemented. The applied development methodology is that of prototypes; since this facilitates the understanding of the needs of the users. With the present research, it is hoped to lay the foundations to continue with the improvement of the prototype and in this way, society will be offered an option to protect its heritage.

**Smart alarm, Programmable system, Antitheft device**

**Citación:** MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, JIMÉNEZ-ROCHA, Alejandra, HERNANDEZ-ABREGO, Anayansi Cristina y SÁNCHEZ-DIAZ, Clara Aurora. Alarma inteligente para prevenir el robo de bicicletas en la Ciudad de Oaxaca. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2020. 4-14: 1-12

\* Correspondencia del Autor ((moralesh.maricela@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El objetivo del presente artículo es presentar el desarrollo de un prototipo de alarma inteligente que coadyuve en la prevención del robo de bicicletas en la Ciudad de Oaxaca basado en un sistema programable. La investigación se ha dividido en dos fases, y en este documento se presenta la primera. El proyecto surge a partir de observar un incremento de robos de bicicletas estacionadas en vía pública en la ciudad de Oaxaca. Como, por ejemplo, Carrera (2018) en su artículo de un diario de circulación estatal, hace notar que la autoridad responsable no tiene una participación decidida en el abatimiento de robos a bicicleta y que son los ciudadanos los que por sus propios medios las buscan y no siempre con éxito.

También Robles (2018) en otro artículo de El Imparcial (periódico local), enfatiza que estadísticamente después del robo de medidores de agua y automóviles; el robo de bicicletas ya es significativo en la capital del estado de Oaxaca; agregando que esto ocurre bajo las cámaras de vigilancia de la Secretaría de Seguridad. Agrega que son bandas bien organizadas de acuerdo con declaraciones de los vecinos y que usan herramientas como la cizalla para cortar las cadenas con las que aseguran las bicicletas.

La metodología de desarrollo aplicada es la de prototipos; ya que ésta facilita la comprensión de las necesidades de los usuarios. Para construir la alarma inteligente, se utiliza un sistema programable que consta de sensores, un microcontrolador en el que se programa el sistema y actuadores que alertan al usuario de un posible robo o extracción de su patrimonio (bicicleta), mediante mensaje SMS - Short Message Service (Hillebrand, 2010) a un número de celular previamente registrado.

De acuerdo con Nuevo y Escaño (2018), el control automático está presente en la vida cotidiana de las personas y actualmente se incorporan las últimas tecnologías de la información y comunicación, lo que les da mayor confiabilidad a los sistemas, con precios más asequibles. Existen en la actualidad diferentes tipos de alarmas para bicicletas; sin embargo, no todos estos modelos integran las funcionalidades propuestas en el prototipo que se presenta en este trabajo.

Por ejemplo, en la tienda en línea Amazon se encuentran el Candado con Alarma para Bicicleta con un precio de \$1739.74 pesos mexicanos y sólo cuenta con una alarma audible en caso de robo (Amazon, 2020); también se encuentra en esta misma tienda el Candado para Bicicleta y Motocicleta con Alarma y Sensor de Movimiento con precio de \$889 pesos mexicanos (Amazon, 2020), el cual cuenta únicamente con un sensor de movimiento, que al activarse emite una alarma de 110 decibeles.

En la propuesta que se presente en este artículo incorpora cinco módulos y utiliza tecnología de segunda generación de dispositivos móviles, para garantizar su funcionalidad, estos módulos son:

1. Acelerómetro: Detecta cualquier movimiento inusual en la bicicleta.
2. Lector de tarjeta RFID (Radio Frequency IDentification): Permite obtener códigos binarios de etiquetas ubicadas a cierta distancia de un lector (Salas, 2017).
3. Geolocalizador: Genera la ubicación en latitud y longitud que será enviada mediante mensaje SMS.
4. SIM: Establece la comunicación entre la alarma y el dispositivo móvil del usuario. Según Burbak et ál (2013), el Sistema Global Para comunicaciones Móviles (GSM) hace una clara diferencia entre la movilidad del suscriptor y la movilidad del equipo a través del SIM.
5. Base de datos: almacenar todas las ubicaciones donde se ha presentado alguna incidencia con la bicicleta

El artículo se ha dividido en varias secciones para su mejor comprensión: en el planteamiento del problema se explica la necesidad encontrada a partir de la observación del entorno y las incidencias que se han presentado en la ciudad de Oaxaca con el incremento en el robo de bicicletas; en la propuesta de solución se explica la forma en que se da respuesta a la problemática planteada; en la sección metodología a desarrollar se fundamentan los pasos que se siguieron en el desarrollo de los prototipos; en el desarrollo se detallan los dos prototipos que se desarrollaron en esta fase; posteriormente se habla de los trabajos futuros, que en este caso, sería la segunda fase del presente trabajo.

Luego, se presentan los agradecimientos tanto a la institución que apoyó la investigación, como a las personas que participan en este proyecto. Después, se dan las conclusiones. Y, para finalizar, el artículo lista las referencias en las que se ha basado.

### Planteamiento del problema

Este proyecto surgió a partir de la identificación de la necesidad de protección y seguridad de la bicicleta como medio de transporte; ya que éste por ser económico y libre de contaminación, va ganando popularidad en su uso para transportarse, alcanzando distancias de recorrido de entre 6 y 10 kilómetros, y en ocasiones, hasta mayores distancias en la ciudad de Oaxaca y sus municipios conurbados. En contraparte, un problema al que se enfrentan los usuarios de las bicicletas es el robo de las mismas, ya que, de acuerdo con la ENVIPE (Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública 2019),

Se estima en Oaxaca que 45.4% de la población de 18 años y más considera la inseguridad como el problema más importante que aqueja hoy en día su entidad federativa, seguido de la pobreza con 44.7 % y la salud con un 40.8% (INEGI,2019, p. 21).

Además, al consultar los diarios de mayor circulación en la ciudad, tales como Noticias voz e imagen de Oaxaca, el Imparcial, entre otros, se pueden encontrar notas periodísticas sobre robos de bicicletas tal como lo menciona Carrera (2018), los robos de bicicletas se han llevado a cabo en pleno centro de la ciudad y en los bici-estacionamientos. Por lo anterior, en la actualidad, proteger el patrimonio de los ciudadanos se convierte en una necesidad imperante.

### Metodología a desarrollar

Para el desarrollo de la alarma inteligente, se utiliza la metodología de desarrollo rápido de aplicaciones (RAD) basada en la creación de prototipos, según Fernández, un prototipo:

Es un sistema de información funcional a pequeña escala que permite descubrir cuáles son las necesidades de los usuarios. El método para el desarrollo rápido de aplicaciones tiene varias ventajas, entre las que destacan su rápido desarrollo y su bajo costo económico. (2010, p. 37)

El desarrollo de sistemas basado en prototipos no es un concepto nuevo, ya que se documentó desde los años 80's de acuerdo con McCracken y Jackson (1982) aplicar la metodología de prototipo permite tener un desarrollo orientado al usuario, se avanza paso a paso con el usuario, a medida que se obtiene información del entorno y propiamente los requisitos del usuario. De este modo, se construyen una serie de prototipos de forma iterativa, pudiendo interpretar la idea de que el prototipo final son modificaciones del primer prototipo.

En el desarrollo basado en prototipos se pueden identificar desde el punto de vista de Alonso, Martínez y Segovia (2005), las siguientes etapas:

1. Recolección de requisitos
2. Diseño rápido
3. Construcción del prototipo
4. Evaluación del prototipo
5. Refinamiento del prototipo
6. Producto

Estas etapas fueron adaptadas al presente trabajo para lograr obtener los dos prototipos que se muestran en la sección del desarrollo.

### Desarrollo

#### Primer prototipo

#### Requisitos

El primer prototipo es un sistema programable que contiene cinco módulos, entre ellos un localizador, un lector de tarjetas, envío de mensajes de texto, un acelerómetro y comunicación con un gestor de base de datos, en este caso se utiliza MySQL.

El usuario cuenta con una tarjeta para activar y desactivar la alarma y, al activarse, el dispositivo obtiene la latitud y longitud de la ubicación física de la bicicleta cada cinco minutos, notificando al propietario mediante un mensaje de texto enviado al número de celular registrado; estos datos son mapeados en Google Maps. Los datos mencionados anteriores son almacenados en una base de datos y pueden ser manipulados para realizar consultas sobre las zonas con mayor incidencia.

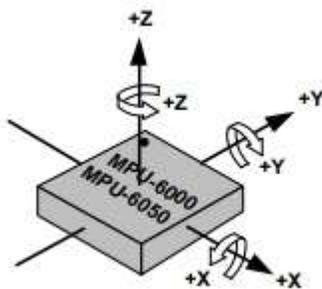
**Diseño y construcción**

El diseño y construcción se realizó por módulos, y la arquitectura utilizada es Arduino Uno, todos los componentes fueron montados en una placa de prueba para este primer prototipo; tales módulos se describen en los siguientes párrafos.

**Módulo acelerómetro**

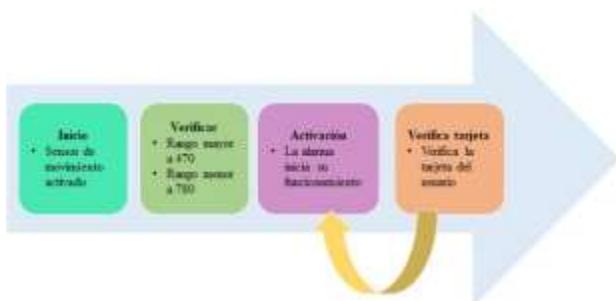
El módulo acelerómetro MPU-6050 contiene: un giroscopio de tres ejes, como se muestra en la figura 1, con el que se puede medir la velocidad angular; y un acelerómetro, también de 3 ejes con el que se miden los componentes X, Y y Z de la aceleración.

La comunicación entre Arduino y el acelerómetro se realiza a través del protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit), conectando físicamente el acelerómetro a la placa Arduino a través de los pines SDA (serial Data) y SCL (serial Clock).



**Figura 1** Orientación de los ejes de sensibilidad y polaridad de la rotación  
Fuente (Invensense, 2012)

En la figura 2, se muestra un diagrama a bloques de la función que realiza el módulo de acelerómetro.



**Figura 2** Diagrama a bloques del módulo acelerómetro  
Fuente: Elaboración Propia

**Módulo lector**

En este módulo se utiliza un lector RFID (Radio Frequency IDentification), ya que con este lector y su complemento se puede intercambiar información importante, basta deslizar una tarjeta conteniendo la información y el lector la interpretará. La información puede ser desde un simple código o todo un paquete de información guardado en la memoria del lector.

El módulo se comunica mediante el bus SPI (Serial Peripheral Interface), por lo que se puede implementar en el prototipo, ya que permite la comunicación con la placa Arduino. El bus SPI envía y recibe datos mediante dos líneas diferentes: una línea que controla desde el prototipo a los diferentes componentes, y otra de manera inversa. Por tanto, la comunicación es Full-Duplex, es decir, se pueden enviar y recibir datos simultáneamente. El diagrama a bloques que describe la funcionalidad de este módulo se presenta en la figura 3.



**Figura 3** Diagrama a bloques del módulo lector  
Fuente: Elaboración Propia

**Módulo geolocalizador**

La comunicación del localizador GPS se lleva a cabo a través de un puerto serial que se emula mediante la librería SoftwareSerial de Arduino, se utilizan los puertos Rx0 y TX0 (puerto serie por Hardware) de este modo se pueden verificar los datos que se reciben. El diagrama a bloques de la figura 4 muestra la funcionalidad de este módulo.



**Figura 4** Diagrama a bloques del módulo geolocalizador  
Fuente: Elaboración Propia



Al aplicar las pruebas se obtuvieron buenos resultados de cada uno de los cinco módulos descritos en la sección anterior. La alarma inicia su funcionamiento activándose con la tarjeta del usuario, una vez en función si detecta un movimiento en la bicicleta, el módulo geolocalizador comienza a generar datos en forma de coordenadas con latitud y longitud. En este momento el módulo SIM envía un mensaje de texto en tiempo real con dichos datos al número de celular registrado previamente.

El usuario de la alarma puede mapear los datos recibidos en su celular a través de la aplicación Google Maps. Los datos que se reciben en el dispositivo móvil también son almacenados en una base de datos para su futura consulta o procesamiento.

### Refinamiento del prototipo

Después de haber realizado las pruebas con el prototipo se observaron oportunidades de mejora; y aplicando las características de la metodología, ésta da la oportunidad de realizar ciclos iterativos para ir mejorando un prototipo hasta alcanzar la satisfacción del usuario o bien, obtener los beneficios esperados del producto final. Hasta este punto, solo se había experimentado con un prototipo en tarjeta de prueba, por lo que se plantea la evolución a un segundo prototipo mejorado, en el cuál se propone cambiar algunas características tales como: el tamaño del dispositivo, la presentación del prototipo en una carcasa plástica; también se hacen cambios en algunos componentes para mejorar el diseño.

### Producto

El producto obtenido como primer prototipo tiene las siguientes características:

- Tamaño:** Las dimensiones de la tarjeta de prueba son 8.2 x 5.5 cm, y el alto lo define el lector RFID, en este caso 6 cm.
- Componentes:** Se conectan con líneas discretas que tampoco tengan conexión entre ellas para evitar fallas dentro del prototipo.
- Conexión:** Las conexiones entre componentes son revisadas previamente con el fin de que tengan un correcto funcionamiento.

- Fuente de energía:** En este primer prototipo, toda la energía necesaria es obtenida de la computadora, ya que la placa Arduino se conecta a ésta a través del puerto serial.
- Tarjeta RFID:** La forma de ésta puede variar, siendo como una de tarjeta común o como un llavero, depende de lo que el usuario desee utilizar.
- Calibración módulo acelerómetro:** Se calibran los ejes cada cierto tiempo para que mantenga su funcionalidad.

Este primer prototipo se muestra en la figura 9.



**Figura 9** Primer prototipo

*Fuente: Elaboración Propia*

### Segundo prototipo

#### Requisitos

En el primer prototipo se encontraron algunas debilidades, que se tomaron como oportunidades de mejora en un nuevo prototipo, como lo son:

- Carece de una protección contra factores del medio ambiente como son: lluvia, polvo, sol, etc.
- El tamaño no es adecuado para ocultarse en alguna parte de la bicicleta, y no se vea a simple vista.

De este modo podemos establecer que los requisitos del segundo prototipo son:

- Se integra directamente un microcontrolador ATtiny85, el cual se comunica con cuatro módulos (RFID, GPS, GSM800L y giroscopio).

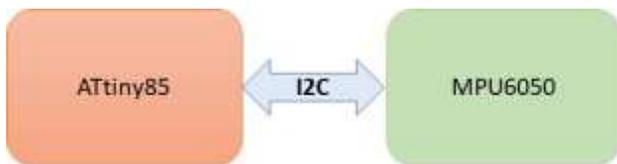
2. Al detectar un movimiento inusual mediante un giroscopio, envía una alerta a través de un mensaje de texto, éste contiene la ubicación de la bicicleta para poder localizarla fácilmente.
3. El prototipo es activado o desactivado por el usuario de la bicicleta, cuando lo considere necesario, mediante una tarjeta RFID.
4. El sistema almacena datos en una base de datos para poder tratarlos posteriormente.
5. Para poder proteger el prototipo de los factores ambientales, se adapta una carcasa a la medida.

**Diseño y construcción**

El diseño y construcción del segundo prototipo también se realizó por módulos, un componente importante que se cambió fue la arquitectura Arduino UNO; en esta ocasión, se utiliza directamente un microcontrolador ATtiny85, todos los componentes fueron montados en una tarjeta de cobre y encapsulada en una carcasa de plástico para proteger el circuito de las inclemencias del medio ambiente; los módulos que componen este nuevo diseño se describen a continuación.

**Módulo acelerómetro**

Para el segundo prototipo, la comunicación entre el microcontrolador y el módulo acelerómetro también se hace mediante el protocolo I2C, en la figura 10 se muestra un diagrama a bloques de la conexión entre el acelerómetro y el microcontrolador ATtiny85.



**Figura 10** Diagrama a bloques de la comunicación entre el acelerómetro y el microcontrolador  
Fuente (Invensense, 2012)

La funcionalidad de este módulo es la misma que se propone en el primer prototipo, tal como puede observarse en la figura 2.

**Módulo lector**

El módulo lector RFID se comunica mediante el bus SPI con el microcontrolador ATtiny85. Para enviar datos entre el componente RFID y el microcontrolador, se configuran los pines de acuerdo con la información mostrada en la tabla 2.

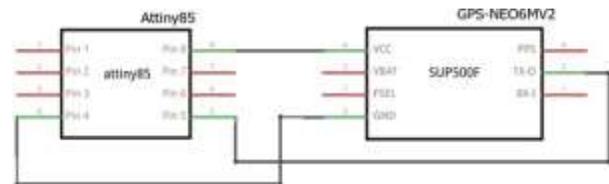
Modo	PN532	ATtiny85
SPI	SCK	D0
	MISO	D1
	MOSI	D2
	SS	D3

**Tabla 2** Correspondencia de pines entre el lector PN532 y el microcontrolador ATtiny85  
Fuente: Elaboración Propia

El bus SPI permite el envío y recepción de datos mediante dos líneas diferentes: una que se conecta al prototipo para controlar a los diferentes componentes, y otra que recibe datos de los componentes al microcontrolador. Por lo tanto, la comunicación es Full-Duplex, esto implica que se pueden enviar y recibir datos simultáneamente. La funcionalidad de este módulo sigue siendo la que se muestra en el diagrama a bloques de la figura 3.

**Módulo geolocalizador**

El funcionamiento de este módulo no cambia sustancialmente; lo único que cambia es el diseño de conexiones que tendrá el componente GPS NEO6MV2 con el microcontrolador ATtiny85, en este caso se usan los pines Rx0 y TX0, éste último conectado al pin cinco del microcontrolador. Esta conectividad se muestra en la figura 11.

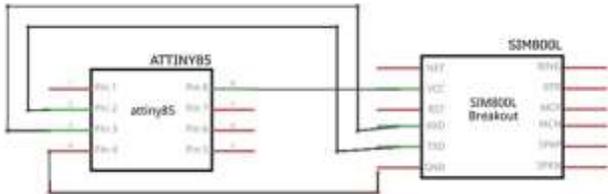


**Figura 11** Conexión del módulo geo-localizador con el microcontrolador ATtiny85  
Fuente (u-blox, 2010)

La funcionalidad de este módulo se puede observar en la figura 4.

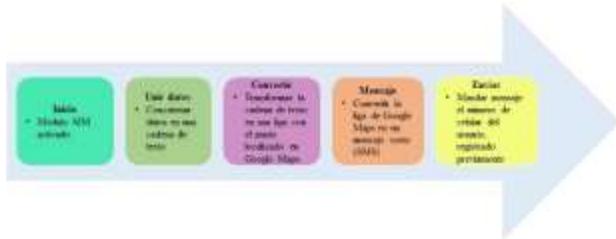
## Módulo SIM

Este módulo se comunica con el microcontrolador ATtiny85 por medio de comandos AT que utilizan un reducido número de pines para el control del módulo, los más esenciales son los pines TXD y RXD, para transmisión, recepción de datos y comandos. Esta conexión se presenta en la figura 12.



**Figura 12** Conexión del módulo SIM con el microcontrolador ATtiny85  
Fuente (SIMCom, 2015)

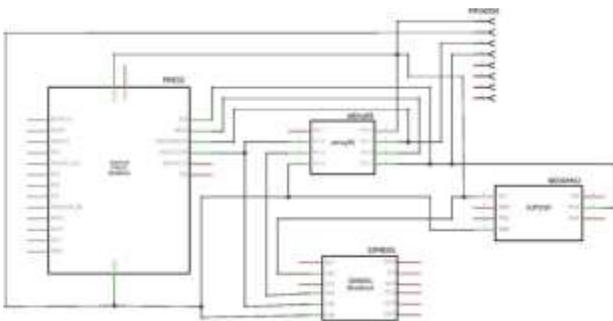
La funcionalidad del módulo SIM se ilustra en la figura 13.



**Figura 13** Diagrama de bloques del proceso del envío del mensaje de texto  
Fuente: Elaboración Propia

## Módulo de base de datos

Para este segundo prototipo, el proceso que se realiza en el módulo de base de datos es el mismo que se realiza en el primer prototipo. Por lo tanto, en este módulo no se realizaron cambios y la funcionalidad es la que se muestra en la figura 7. El diseño del circuito del segundo prototipo queda como se observa en la figura 14.



**Figura 14** Diagrama a bloques del circuito electrónico del segundo prototipo  
Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a la programación, esta se lleva a cabo en lenguaje C para el editor de Arduino, en el primer bloque se colocan comentarios, que describen la función del programa, la declaración de las variables, así como la declaración de las librerías que ayudan a controlar la comunicación entre los componentes.

Para usar el bus I2C en Arduino, el editor estándar proporciona la librería *Wire.h*, también se integra la librería *Adafruit\_PN532.h* para controlar el lector RFID modelo PN532.

Para la comunicación con la base de datos se tiene establecida la dirección MAC (Media Access Control), de la computadora que se utiliza, el usuario y contraseña de ingreso al gestor MySQL y las operaciones necesarias que, en este caso, se trata de una inserción a la tabla que almacena los datos de ubicación de la bicicleta.

El segundo bloque de programación es la función de configuración, llamada *setup*, contiene la inicialización de los elementos y esta función sólo se ejecuta una vez justo después de reiniciar el microcontrolador, y no se vuelve a ejecutar hasta que no haya otro reinicio. Es la primera función a ejecutar en el programa, aquí se utiliza para configurar, inicializar variables, comenzar a usar librerías, entre otras.

En el tercer y último bloque existe una función bucle o ciclo, llamada *loop*, que contiene el código que se ejecuta continuamente. Esta función es el núcleo del programa y se usa para el control activo del prototipo, en la figura 15 se muestra este fragmento de código, que es la parte medular de la alarma.

Se realizan las pruebas pertinentes al segundo prototipo y se obtienen los resultados esperados, mismos que se describen en la siguiente sección de este documento.

```

void loop() {
  //Acelerómetro
  sensor.getAcceleration(sax, say, saz); //Obtener la aceleración.

  if(sax < -1860 || saz > -2200){
    //Serial.println("A la izquierda");
    // Detectar tarjeta
    if (mfrc522.PICC_IsNewCardPresent()) {
      //Seleccionamos una tarjeta
      if (mfrc522.PICC_ReadCardSerial()) {
        // Comparar ID con las claves válidas
        if (isEqualArray(mfrc522.uid.uidByte, validKey1, 4)){
          Serial.println("Tarjeta válida");
        }
      }
    }
    else{
      Serial.println("Tarjeta no detectada");
      Serial.println();
      Serial.println("Latitud Longitud Fecha");
      Serial.println("{deg} {deg} {date}");
      Serial.println("-----");

      float flat, flon;
      unsigned long age, date, time, chars = 0;

      gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
      print_float(flat, TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE, 10, 6);
      print_float(flon, TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE, 11, 6);
      print_date(gps);
    }
  }
}

```

**Figura 15** Fragmento del programa principal de control del prototipo

Fuente: *Elaboración Propia*

## Evaluación del prototipo

Una vez terminado el segundo prototipo, éste se sometió a diferentes pruebas para comprobar que su funcionamiento sea el esperado. De este modo, cuando se inicia el funcionamiento de la alarma, esta detecta la tarjeta RFID con lo cual es activada para iniciar el sensado de algún movimiento inusual, si se presenta un movimiento de alerta se inicia el funcionamiento del módulo geolocalizador; en este momento se obtienen los datos en forma de coordenadas con latitud y longitud, estos datos se envían a través de un mensaje de texto SMS al número de móvil registrado previamente, esta información se presenta como una liga que lleva directamente a la aplicación Google Maps y al abrir la aplicación se muestra un punto que identifica esa localización en el mapa.

Por otro lado, se agrega la localización en la base de datos implementada para tal fin. Se probaron diferentes condiciones de entrada para el sistema programable, detectándose algunos errores en la programación que se subsanaron en su momento.

## Refinamiento del prototipo

Después de realizadas las pruebas surgen oportunidades de mejora del prototipo obtenido, entre las características que se pueden mejorar son: reducción del tamaño del prototipo con el replanteamiento del diseño, de este modo se suprimen algunos componentes.

Diseñar una página web y aplicación móvil para llevar un control de los usuarios que adquieran la alarma y en un momento dado poder dar seguimiento a través de este sistema web, en caso de robo de la bicicleta. Al tener un prototipo más reducido, se cambia la carcasa por una de menores dimensiones, pero que asegure su protección de agentes ambientales; y, al mismo tiempo, no sea visible para las personas que sustraen la bicicleta.

## Producto

El prototipo obtenido como segundo prototipo tiene las siguientes características, éstas pueden verse en la figura 16:

- Protección: Elaboración de una carcasa con PLA para proteger el dispositivo.
- Tamaño: No excede los 2.5 x 7.2 x 5.7 cm, son las dimensiones de la caja de protección.
- Componentes: Se conectan con líneas discretas que tampoco tengan conexión entre ellas para evitar fallos dentro del prototipo.
- Módulo RFID: Se suple el modelo RFID RC522 por el modelo RFID PN532, siendo este último más pequeño reduciendo el tamaño del prototipo.
- Sustitución de la placa Arduino por el microcontrolador ATtiny85.

## Resultados

Los resultados obtenidos en esta primera fase de la alarma inteligente para prevenir el robo de bicicletas en la Ciudad de Oaxaca es un prototipo con cinco módulos, el cual se ilustra en la figura 16:

1. Acelerómetro
2. Lector de tarjeta RFID
3. Geolocalizador
4. SIM
5. Base de datos

El funcionamiento de la misma inicia con la activación de la alarma a través de la lectura de la tarjeta RFID que tiene el usuario. Una vez activada la alarma, ésta es capaz de detectar un movimiento de la bicicleta, si esto ocurre, se activa el módulo geolocalizador, y de éste se obtienen los datos en forma de coordenadas con la latitud y la longitud que en ese momento tiene la bicicleta.



(a) Vista interior

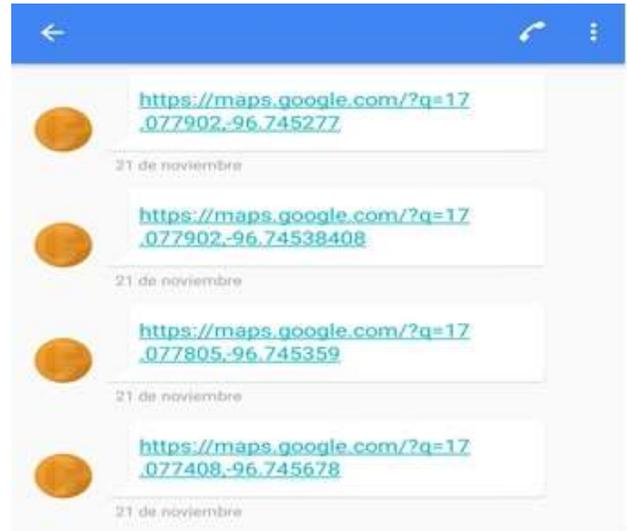


(b) Vista exterior

**Figura 16** Segundo prototipo físico  
Fuente: *Elaboración Propia*

Con los datos obtenidos por el módulo geolocalizador, se compone un mensaje de texto que es enviado en tiempo real al número de celular registrado previamente, el proceso interno que se realiza con dichos datos es la conversión de la latitud y longitud planas en un punto que se ubica en los mapas de Google Maps; de este modo, lo que se envía como mensaje de texto al teléfono celular receptor es una la liga que puede direccionar a un punto de ubicación utilizando la aplicación Google Maps. La apariencia de estos mensajes SMS pueden verse en la figura 17.

Al abrir la liga de Google Maps se muestra la ubicación en tiempo real de la bicicleta, a manera de ejemplo en la figura 18, se presenta la ubicación de un punto obtenido de un mensaje SMS, recibido en el teléfono celular autorizado.



**Figura 17** Ejemplos de mensajes de texto SMS conteniendo la liga del punto ubicado con Google Maps  
Fuente: *Elaboración Propia*



**Figura 18** Longitud y latitud enviados vía SMS, ubicados en Google Maps  
Fuente: *(Alphabet, Inc, 2019)*

Por otro lado, la información obtenida sobre la ubicación de la bicicleta es almacenada en la base de datos, creada para tal fin.

En esta base de datos existe una tabla con los atributos: fecha, latitud y longitud, como se muestra en la figura 19, donde se presenta un ejemplo de los datos que se van almacenando en la base de datos y que posteriormente se pueden usar para obtener, por ejemplo, zonas de mayor incidencia.

registro	fecha	latitud	longitud
52	2019-10-08	18.757281	-98.983946
53	2019-10-08	18.757281	-98.983946
54	2019-10-08	17.068536	-96.704170
55	2019-10-08	17.068538	-96.704170
56	2019-10-08	17.068540	-96.704162
57	2019-10-08	17.068538	-96.704162

**Figura 19** Ejemplo de datos almacenados en la base de datos

Fuente: *Elaboración Propia*

### Trabajos futuros

En la primera fase de este trabajo se desarrollan dos prototipos; sin embargo, existe un aspecto que es fundamental para que el segundo prototipo sea autónomo en relación a la fuente de energía de alimentación; hasta el segundo prototipo se utiliza energía de la computadora con la que se realizan las pruebas. Por lo anterior, un trabajo futuro inminente es la autonomía de energía agregando un módulo de alimentación autónoma al sistema programable en el que se basa la alarma.

Por otro lado, también es importante revisar los componentes para sustituir algunos con el fin de reducir el tamaño del prototipo, y este, sea fácilmente camuflado entre los componentes de la bicicleta para de alguna manera impedir que sea retirado de la misma.

### Agradecimiento

Se agradece el apoyo brindado por el Tecnológico Nacional de México, que a través del Campus Oaxaca da las facilidades y los espacios para el desarrollo de la investigación; así como el apoyo para la elaboración del presente artículo. También se agradece ampliamente la colaboración y dedicación de los autores del artículo, profesores y estudiantes que participan en la investigación.

Esperando que para todos ellos, la divulgación del trabajo realizado, redunde en su desarrollo profesional.

### Conclusiones

El prototipo resultado de este trabajo de investigación, ha despertado el interés de realizar investigación en el campo de la aplicación de las tecnologías en la solución de problemas cotidianos, que aparentemente, se tienen resueltos; pero que en ocasiones las soluciones que se encuentran en el mercado son parciales o limitadas. El hecho de proponer una solución a la medida a través de los sistemas programables, permite que los desarrolladores vayan adaptando el producto final a las necesidades reales de los usuarios.

En este caso, existen diferentes alarmas comerciales que pueden ser de utilidad para resguardar una bicicleta; sin embargo, la incorporación de tecnologías emergentes, agregan valor al prototipo. El costo del primer prototipo que se obtuvo es de \$1000.00, el segundo prototipo se redujo en \$200, quedando su valor en \$800.00; sin embargo, estos costos aún no son exactos; ya que, aún no queda definido un modelo de negocio con el que se pueda calcular el valor de la alarma, lo cual puede formar parte del trabajo futuro.

Para poder evaluar el prototipo que se obtuvo, éste fue presentado en diferentes foros de tecnología donde se recibieron observaciones y mejoras al prototipo. Como por ejemplo el Evento Nacional Estudiantil de Innovación Tecnológica 2019, en el que se logró clasificar al nivel regional; otro evento en el que se expuso el prototipo fue Proyecto Multimedia 2019 auspiciado por Infomatrix Latinoamérica, en el cual se obtuvo medalla de bronce. Resultado de estas participaciones dieron origen a una serie de mejoras que se desarrollan en la segunda fase de este trabajo de investigación.

### Referencias

Alphabet Inc. (2019). Aplicación Web Google Maps. USA.

Alonso, F., Martínez, L. y Segovia, F.J. (2005). Introducción a la Ingeniería del software. España: Delta Publicaciones.

Amazon (2020). Departamento de electrónicos: Alarmas para bicicletas. Consultado el 30 de abril de 2020. <https://www.amazon.com.mx/>

Burbank, J.L., Andrusenko, J., Everett, J.S. y Kash, W.T.M. (2013). *Wireless Networking: Understanding Internetworking Challenges*. USA: IEEE press.

Carrera, A. (2018, 11 de agosto). Robo de bicis imparable en el centro de la ciudad capital. El Imparcial. Recuperado de <https://imparcialoaxaca.mx/policiaca/203564/robo-de-bicis-imparable-en-el-centro-de-la-ciudad-capital/>

Fernández, V. (2010). *Desarrollo de Sistemas de Información. Una Metodología Basada en el Modelado*. Volumen 120 de Aula politècnica: Organización de empresas. España: Univ. Politèc. de Catalunya.

Hillebrand, F. (2010). *Short Message Service (SMS): The Creation of Personal Global Text Messaging*. Uited Kindom: John Wiley & Sons Ltd.

INEGI. (2019). *Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública (ENVIPE) 2019. Principales Resultados*. Oaxaca.

InvenSense. (2012). *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification. Revision 3.3*. USA.

McCracken, D. D. y Jackson, M. A. (1982). *Life Cycle Concept Considered Harmful*. ACM Software Engineering Notes Volume 7 No. 2.

Alonso, F., Martínez, L. y Segovia, F.J. (2005). *Introducción a la Ingeniería de Software: Modelos de desarrollo de programas*. España: Delta Publicaciones.

Nuevo, A. y Escaño, J.A. (2018). *Sistemas secuenciales programables*. España: Paraninfo

Robles, J. (2018, 3 de agosto). Joven denuncia el robo de su bici. El imparcial. El mejor diario de Oaxaca. Recuperado de <https://imparcialoaxaca.mx/policiaca/199885/joven-denuncia-el-robo-de-su-bici/>

Salas, S. (2017). *Todo sobre sistemas embebidos: Arquitectura, programación y diseño de aplicaciones prácticas con el PIC18F*.

Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

SIMCom.(2015). *SIM800H & SIM800L Hardware Design V2.02*. China: SIMCom

Ublox. (2010). *NEO-6 u-blox 6 GPS Modules. Data Sheet*. USA: ublox.

## Prototipo para el análisis del crecimiento vehicular y de estaciones de monitoreo atmosférico

### Prototype for the analysis of vehicle growth and atmospheric monitoring stations

ROMO-GONZALEZ, Ana Eugenia†\* & VILLALOBOS-ALONZO, María de los Ángeles

*Universidad Tecnológica de Jalisco*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Ana Eugenia, Romo-Gonzalez / ORC ID: 0000-0002-4653-2593, CVU CONACYT ID: 212291

ID 1<sup>er</sup> Coautor: María De Los Ángeles, Villalobos-Alonzo / ORC ID: 0000-0003-3052-8271, CVU CONACYT ID: 212718

DOI: 10.35429/JTEN.2020.14.4.13.19

Recibido 03 de Junio, 2020; Aceptado 30 Octubre, 2020

#### Resumen

Coexiste un reconocimiento universal de la importancia y necesidad de establecer acciones climáticas más ambiciosas y efectivas en todos los sectores involucrados; gobierno, sector privado y sociedad con el objetivo de actuar en conjunto para disminuir y frenar el aumento de la temperatura global en el presente siglo y con ello, evitar efectos devastadores e irremediables en el cambio climático. En este sentido, la implementación de sistemas de monitoreo atmosférico ha permitido identificar las emisiones de partículas y gases contaminantes relacionadas directamente con los vehículos de motores a gasolina y diesel; por lo tanto el objetivo del este proyecto consiste en el diseño de un prototipo de sistema para dispositivos móviles con sistema operativo Android, que permita proyectar el aumento o disminución de gases contaminantes empleando los datos estadísticos de crecimiento vehicular y de las estaciones de monitoreo atmosférico del estado de Jalisco, México, por lo que constituye una herramienta tecnológica valiosa cuya contribución principal se enfoca en mantener a la población informada acerca de la importancia de la disminución de contaminantes que puedan deteriorar la salud.

**Prototipo, Crecimiento vehicular, Monitoreo atmosférico**

#### Abstract

There is a universal recognition of the importance and need to establish more ambitious and effective climate actions in all the sectors involved; government, private sector and society with the aim of acting together to decrease and stop the increase in global temperature in the present century and thereby avoid devastating and irremediable effects on climate change. In this sense, the implementation of atmospheric monitoring systems has made it possible to identify the emissions of particulate and polluting gases directly related to gasoline and diesel engine vehicles; therefore, the objective of this project is to design a prototype system for mobile devices with the Android operating system, which allows projecting the increase or decrease of polluting gases using statistical data on vehicle growth and atmospheric monitoring stations in the State of Jalisco, Mexico, therefore it constitutes a valuable technological tool whose main contribution focuses on keeping the population informed about the importance of the reduction of contaminants that can deteriorate health.

**Prototype, Vehicle growth, Atmospheric monitoring**

**Citación:** ROMO-GONZALEZ, Ana Eugenia & VILLALOBOS-ALONZO, María de los Ángeles. Prototipo para el análisis del crecimiento vehicular y de estaciones de monitoreo atmosférico. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2020. 4-14: 13-19

\* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: aromo@utj.edu.mx)

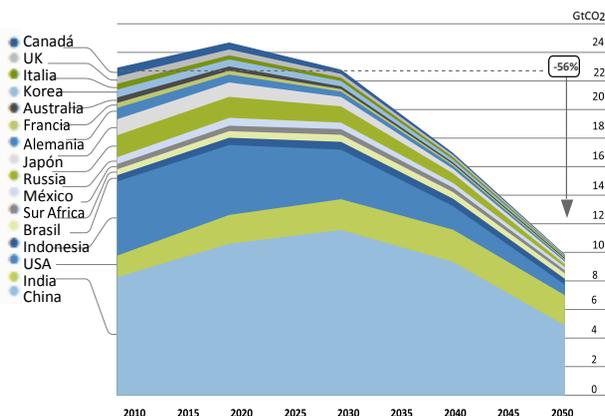
† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El cambio climático se ha convertido en un tema prioritario de la agenda de organismos internacionales, que ha impactado en dimensiones políticas, sociales y culturales, orientando a los países y gobiernos a desplegar estrategias para frenar el calentamiento global. Entre los desafíos a nivel mundial, tanto en Latinoamérica como en países del Caribe, se encuentra la descarbonización de la economía como nueva alternativa del desarrollo sostenible, “con la intención de reducir las emisiones en más de un 80% para el 2050 y limitar a un 2°C el aumento de la temperatura del planeta,” (Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático (COP 20), 2014).

El monitoreo de la información de gases contaminantes a través de aplicaciones que muestren el análisis sintetizado de los datos es importante ya que de acuerdo con el informe del Instituto de Desarrollo Sostenible y Relaciones Internacionales, (2015:4), que lidera “The Deep Decarbonization Pathways Project” (DDPP) donde colaboran 16 países, coinciden en la “descarbonización profunda” en la economía y el establecimiento de una trayectoria a largo plazo para que los resultados esperados sean satisfactorios y consistentes en la reducción de emisiones netas per cápita de CO<sub>2</sub> para el año 2050.

La propuesta de reducción de emisiones intenta limitar el uso de combustibles fósiles y otros emisores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de los cuales, estos 16 países son responsables de más del 70% de las emisiones globales de GEI (Gases de efecto invernadero). Figura 1.



**Figura 1** Trayectorias de emisiones de energía CO<sub>2</sub>, 2010-2050, mostrando los escenarios de reducción más ambiciosos para todos los países DDPP

Fuente: DDPP, (2015: 4)

“La proyección de la descarbonización al 2050 se vuelve factible en un escenario ambicioso donde se pretende la reducción al 57% de las trayectorias de emisiones de energía CO<sub>2</sub>, considerando un crecimiento poblacional de un 17% y un PIB de 250% correspondiente al promedio acumulado del 3.1% en 40 años” (Deep Decarbonization Pathways Project, 2015: 4).

En el caso de México, se alinea a la intención de la reducción de emisiones consistentes con el objetivo 2°C acordado en el DDPP en tres pilares de descarbonización profunda:

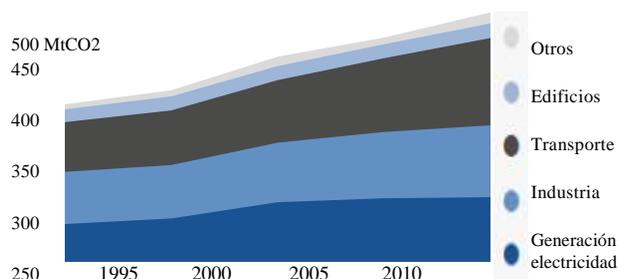
1. Eficiencia y ahorro energético,
2. Electricidad baja en carbono, y
3. Sustitución de combustibles.

Su situación al 2010 es de “493,450.63 miles de toneladas de CO<sub>2</sub>” (SEMARNAT, 2012), “las emisiones de GEI están acrecentando al 2015 debido al aumento del consumo de combustibles fósiles” (Tovilla et al., 2015: 2).

El uso de la energía se extendió sobre los siguientes combustibles: “gasolina (32%), electricidad (16%), Diesel (16%), gas natural (11%), GLP (10%) y madera (5%). Aproximadamente el 30% de toda la energía utilizada actualmente en México está dedicado al transporte, y cerca del 70% de esa energía es demandada por los vehículos particulares.

Estas cifras reflejan el aumento del vehículo de particular que se duplicó de 2000 a 2010 a aproximadamente 207 vehículos por cada mil habitantes, y en las emisiones de GEI del transporte creció a una tasa anual del 2,9% entre 1990 y 2010” (Tovilla et al., 2015: 12).

De acuerdo con Pathways to deep decarbonization in Mexico, (2015:8) “las emisiones totales de GEI alcanzaron 694 MtCO<sub>2</sub> en 2010 (Figura 2).



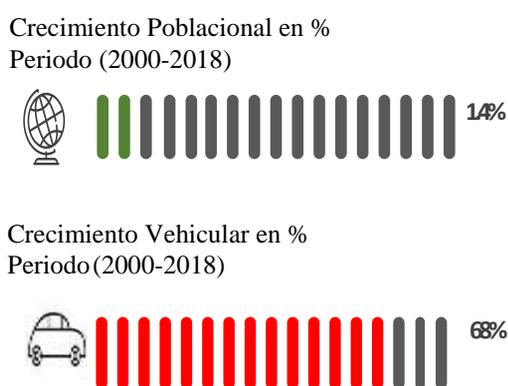
**Figura 2** Histórico de emisiones de CO2 relacionadas con la energía en México por sector. \*Cifras representados en millones

Fuente: *Tovilla, (2015: 12)*

En la Figura 1 se observa que alrededor del 60% de ellas corresponden a las emisiones de CO2 derivadas de la combustión de combustibles fósiles para usos energéticos (424 Mton)”.

Por lo tanto, la mayor fuente de emisiones de GEI en México se originan por el uso del transporte (23% de todas las emisiones de GEI en 2010) y la generación de electricidad (17%).

El parque vehicular es uno de los factores de las emisiones del transporte, ya que aunque el crecimiento de la población en México se ha mantenido estable, no ha sido así el de vehículos particulares porque del 2000 al 2018 hemos tenido un crecimiento del 68% (Figura 3)



**Figura 3** Relación de la cantidad de vehículos respecto a los habitantes en México al 2018

Fuente: *Elaboración propia con datos estadísticos de INEGI, (2018)*

En el año 2000, México contaba con 97 millones de habitantes y 9.78 millones de autos; 10 habitantes por vehículo. Sin embargo, en 2015, la población creció a 119. 5 millones y los automóviles a 26.5 millones, reduciéndose a 4.5 habitantes por vehículo.

En 2018 existían registrados en INEGI 31´214,090 millones los automóviles por 132´865,407 millones de habitantes alcanzando un promedio de 4.2 habitantes por vehículo, aumentando en un 45% las emisiones de GEI por transporte particular.

Las ciudades de México con mayor índice de parque vehicular y de emisiones de CO2 derivadas de los combustibles fósiles para usos energéticos se presentan en la Tabla 1.

Ciudad	Habitantes	Autos particulares	Habitantes por vehículo
Estado de México	16.1	7.3	2.2
Cd. de México (CDMX).	8.9	5.4	1.6
Jalisco	7.8	3.6	2

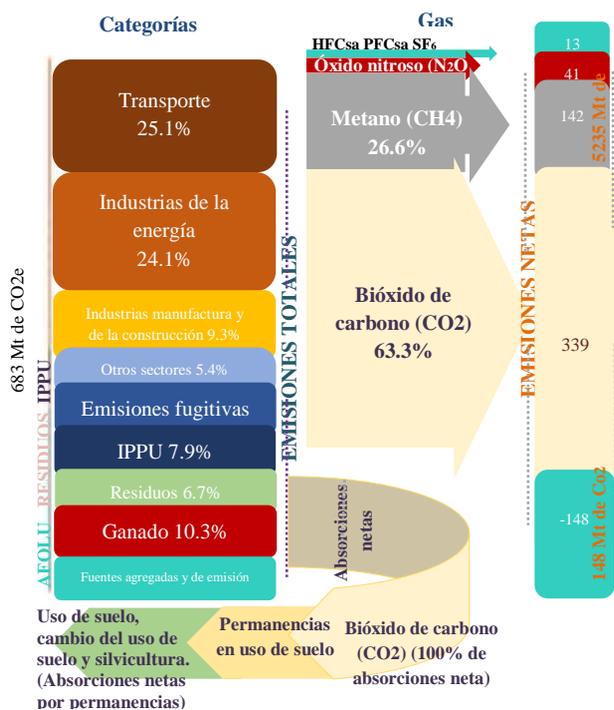
**Tabla 1** Ciudades de México con mayor emisión de CO2 por vehículos particulares

Fuente: *Elaboración propia con datos estadísticos de INEGI*

Como se identifica en la Tabla 1, la CDMX cuenta con alto parque vehicular particular con respecto a la tasa poblacional aproximada.

Las emisiones de GEI deben ser medidas de manera constante por lo que en México la SEMARNAT despliega una red de monitorio con 33 estaciones distribuidas en el territorio nacional, para evaluar el estado de la calidad del aire con respecto a la concentración de los contaminantes criterio (Partículas suspendidas PM10 y PM2.5, Ozono (O3), Dióxido de azufre (SO2), Dióxido de nitrógeno (NO<sup>2</sup>) y Monóxido de carbono (Co).

El último inventario Nacional de gases de efecto invernadero (INECC, 2015) (Figura 4), que emite el Transporte es el 25.1% de las partículas contaminantes y gases (Bióxido de Carbono (CO2) 71.1% y Metano en un 20.8%. En el estado de Jalisco, existe un Sistema de monitoreo atmosférico compuesto por 10 estaciones fijas y una móvil que opera con el sistema WINAQMS.



**Figura 4** (Edición) Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero GEI. Fuente: INECC y SEMARNAT, 2018

En el Marco de DDPP, México busca implementar una agenda de acción 2015-2020 Generar visión integral de descarbonización de los sistemas de generación y uso de energía (Eficiencia / Generación de cero emisiones / Sistemas de transporte), 2020-2025 Programa de acción intersectorial, con rutas acordadas y marco institucional correspondiente (Planeación / Marco regulatorio e institucional / Instrumentos económicos y de política / Recursos / Métricas y monitoreo) e instrumentar el cambio siguiendo rutas acordadas de inversión y tecnologías.

Las estaciones de monitoreo para la medición del aire en la zona metropolitana de Guadalajara, en el estado de Jalisco realizan un muestro con intervalos de una hora en un radio de cobertura de 2 km.

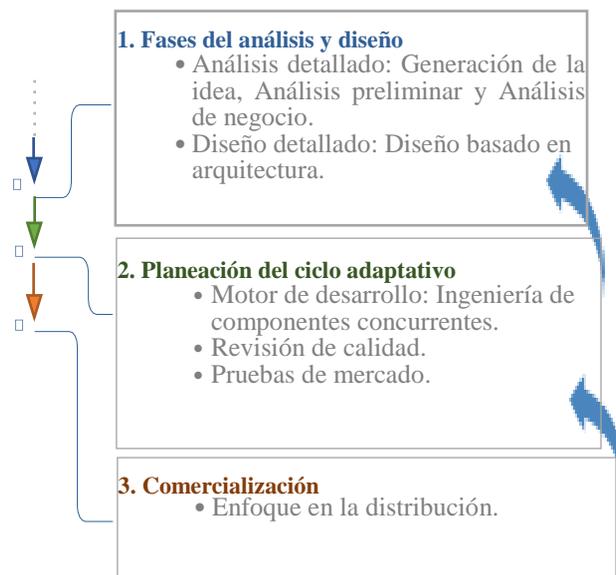
Por lo tanto, aunque la información de las partículas contaminantes está disponible para la consulta de la población, a través de la descarga de archivos de diversos tipos, el promedio de los ciudadanos además de desconocer la existencia de los datos carece de las habilidades necesarias para su interpretación. En este contexto, el desarrollo de herramientas en plataformas de alta penetración como los dispositivos móviles es pertinente debido a que le permite al sector social mantenerse informado sobre los efectos de las medidas de descarbonización y el reto de la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> en el país.

Por lo que el objetivo del presente trabajo consiste en diseñar un sistema para dispositivos móviles que permita proyectar el aumento o disminución de gases contaminantes empleando los datos estadísticos de crecimiento vehicular y de las estaciones de monitoreo atmosférico del estado de Jalisco, México, por lo que constituye una herramienta tecnológica valiosa para mantener a la población informada.

Para abordar el diseño del prototipo, en este artículo se presenta, en el apartado de metodología el desglose del método utilizado y los pasos realizados para el desarrollo. Posteriormente se presentan los resultados respecto a la implementación propuesta y finalmente las conclusiones.

**Metodología**

En este trabajo se utiliza el método ágil (Rahimian y Ramsin, 2008) para el desarrollo de proyectos en el área de software con enfoque en tecnología aplicada. Se presentan de forma esquemática (Figura 5) las tres fases que conforman la metodología:



**Figura 5** Fases de la metodología ágil (Rahimian y Ramsin, 2008)

En la etapa de análisis detallado se identifica como eje central del proyecto (idea) el análisis proyectado de los contaminantes identificados por las diez estaciones de monitoreo atmosférico y una unidad móvil del estado de Jalisco, México; así como los datos estadísticos del crecimiento vehicular, principal emisor de gases contaminantes.

El análisis preliminar y de negocio se basa en la alta penetración de dispositivos móviles y teléfonos inteligentes en México así como de la plataforma operativa más utilizada en América latina (Romo-González et al., 2017).

En el diseño basado en la arquitectura se consideran las limitaciones de los desarrollos en los dispositivos móviles y los mecanismos de conexión para la descarga de documentos estadísticos en diversos formatos (Excel, pdf). De los formatos se extraen los campos relevantes con los que se diseña la base de datos para el sistema. Para el cálculo de las proyecciones del crecimiento vehicular se utiliza la fórmula de Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) con el que se obtienen los volúmenes de tránsito futuro (Grisales, 2007).

Finalmente, se realizan las tablas comparativas de los gases contaminantes emitidos a la atmósfera y que son captados por las estaciones de monitoreo atmosférico contra el crecimiento del parque vehicular.

## Resultados

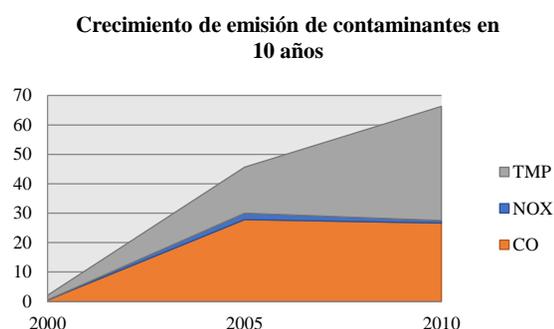
De acuerdo la metodología establecida, como primer paso se identificaron las partículas contaminantes con registro en las estaciones climatológicas. Desde el 01 de enero 1996, cada una de las diez estaciones de monitoreo atmosférico que componen el Sistema de medición del aire en la zona metropolitana de Guadalajara Jalisco realizan un muestro con intervalos de una hora y tienen un radio de cobertura de 2 km. Los diez compuestos que se identifican se presentan en la tabla 2:

No.	Emisión	Observación
1	CO	Los gases que emiten los motores de gasolina y que son considerados como contaminantes son: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx) y dióxido de carbono o CO2.
2	NO2	
3	NOX	
4	O3	
5	PM10	
6	RH	
7	SO2	
8	TMP	Los motores de diesel: NOx, HC, CO, dióxido de carbono, dióxido de azufre (Cox), y aldehídos y micropartículas de hollín (Mp) procedentes del carbón.
9	WDR	
10	WSP	

**Tabla 2** Listado de emisiones contaminantes disponibles en los registros emitidos por las diez estaciones de monitoreo atmosférico y una unidad móvil del estado de Jalisco, México

Fuente: Elaboración propia con datos de las estaciones de monitoreo

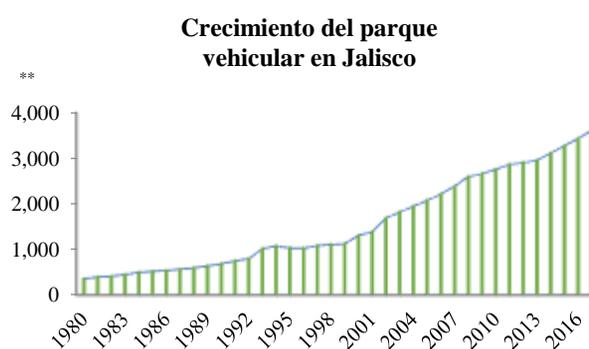
A partir de la Tabla 1 se establece que las emisiones directamente relacionadas con los vehículos son CO, NOX y TMP. El incremento de estas partículas se puede apreciar en la Figura 6.



**Figura 6** Crecimiento de contaminantes en el estado de Jalisco en un periodo de 10 años

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de datos de las estaciones de monitoreo atmosférico (SIMAJ, 2018)

Posteriormente se recupera la información del crecimiento vehicular para el estado. Con respecto a este indicador los datos encontrados muestran que en casi 4 décadas se ha incrementado en un 642.7%, lo que ha contribuido de manera significativa en el aumento de emisión de contaminantes a la atmósfera. En la Figura 7 se muestra el crecimiento desde el año 1980 al 2016.

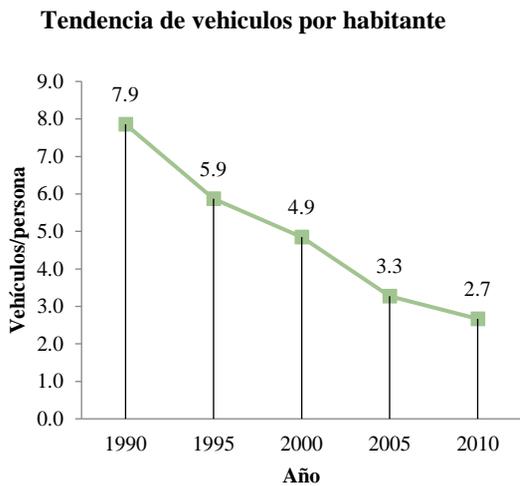


Cantidad de vehículos \*\* en miles

**Figura 7** Crecimiento del parque vehicular en el estado de Jalisco

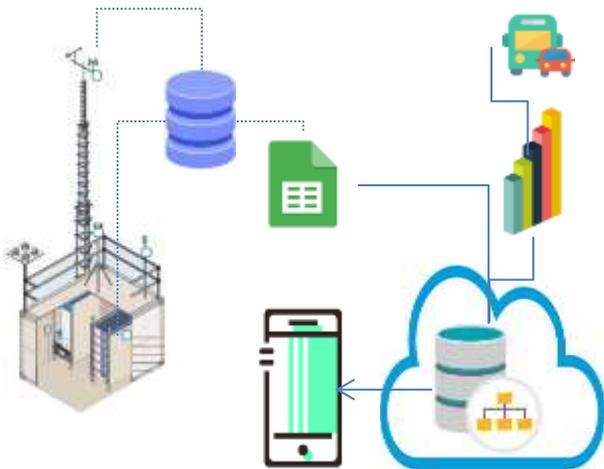
Fuente: Elaboración propia según datos de INEGI, (2017)

La información del parque vehicular se contrasta con el crecimiento poblacional para determinar la relación de vehículos por habitante (Figura 8).



**Figura 8** Relación del crecimiento del parque vehicular respecto a la cantidad de habitantes en el estado de Jalisco  
 Fuente: *Elaboración propia según datos de INEGI, (2017)*

La construcción de la Tabla 2 y de las Figuras 6 y 7 se sustenta en la sustracción y posterior análisis de datos masivos de diversas fuentes. Esta estructura permitió esquematizar la arquitectura para el diseño del prototipo presentado en la Figura 9.



**Figura 9** Arquitectura del prototipo de para el análisis del crecimiento vehicular y de estaciones de monitoreo atmosférico  
 Fuente: *Elaboración Propia*

El esquema de la Arquitectura propuesto (Figura 8) contiene la recolección masiva de datos generados por las estaciones de monitoreo atmosférico y su descarga en formatos de hojas electrónicas a los que se integran la información del parque vehicular y el crecimiento poblacional. Los datos y se análisis se conjuntan en una base de datos almacenada en la nube.

Una vez concluida la etapa desarrollo de la base de datos para el prototipo, se desarrolló el prototipo de la aplicación móvil con la estructura presentada en la Figura 10.



**Figura 10** Interfaz del prototipo de para el análisis del crecimiento vehicular y de estaciones de monitoreo atmosférico  
 Fuente: *Elaboración Propia*

Los apartados relativos a la población y vehículos muestran el crecimiento poblacional y el del parque vehicular por periodos que pueden ser seleccionados por el usuario.

En las estadísticas se pueden mostrar gráficas como las de la Figura 7 además de las tendencias de emisiones de partículas a la atmosfera en periodos específicos.

Las gráficas pueden descargarse en formato de imagen desde el apartado de descargas. Además de la infraestructura sobre el monitoreo ambiental y su alcance de acuerdo con la zona de ubicación, como se muestra en la Figura 11.



**Figura 11** Especificación de alcance de las estaciones de monitoreo atmosférico  
 Fuente: *SIMAJ (2018)*

A partir del diseño del prototipo se comienza el desarrollo para dispositivos móviles que cuentan con el sistema operativo Android debido a la alta penetración, lo que permite acercar la información a un sector más amplio de la población.

### Conclusiones

Aunque el nivel de contaminación antropogénica identificada en la zona metropolitana de Guadalajara Jalisco se encuentra a disposición de la sociedad a través de archivos con diversos formatos, no todos los ciudadanos poseen la capacidad para realizar un análisis de los datos. Por lo tanto el desarrollo de un sistema que presente la información integrada constituye una herramienta para acercar al sector social a la problemática de los niveles de contaminación y su influencia en el cambio climático con impactos negativos.

La extensión de la aplicación del prototipo a otros estados de la República es factible a partir de su desarrollo incremental mediante menú de selección de estados e identificación de estaciones de monitoreo atmosférico por entidad.

### Referencias

Deep Decarbonization Pathways Project (2015). Pathways to deep decarbonization 2015 report executive summary, SDSN - IDDRI. Consultado 14 de octubre de 2018. En: [http://unsdsn.org/wp-content/uploads/2015/09/DDPP\\_EXESUM.pdf](http://unsdsn.org/wp-content/uploads/2015/09/DDPP_EXESUM.pdf)

Grisales, J. C. (2007). El volumen de tránsito atraído y desarrollado en carreteras de Colombia. Un caso real. *Revista de Topografía AZIMUT*, 1, 41-52.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2018. México: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuesto de Efecto Invernadero 1990-2015, se produjo con financiamiento del [Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM)], implementado por [el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)]. En: <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/226>

INEGI. (2018). Parque vehicular. Consultado el 14 de oct. de 18. En: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>

INEGI. (2017) Vehículos de motor registrados en circulación. Consulta interactiva. Disponible:<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/registros/economicas/vehiculos/descripciones.aspx#>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Acuerdo París. Consultado el 13 de octubre de 2018. En: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana>

Observatorio ambiental Bogotá. (2018). Parque vehicular. Consultado el 13 de octubre de 2015. En: <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/documentacion-e-investigaciones>

ONU. (2015). Conferencia Mundial de Cambio Climático COP 20. (Documento web). Consultado 13 de octubre de 2018. En: <http://onu.org.pe/wp-content/uploads/2014/07/Triptico-COP-20.pdf>

Rahimian, V., & Ramsin, R. (2008, June). Designing an agile methodology for mobile software development: A hybrid method engineering approach. In *Research Challenges in Information Science, 2008. RCIS 2008. Second International Conference on* (pp. 337-342). IEEE.

Romo-González, A., Villalobos-Alonzo, M, Avila- Garcia, D., Marquez-Sanchez, M. (2017). "Aplicación móvil para un sistema de diagnóstico en procesos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación". *Revista de Tecnologías de la Información*, Volume 4 Number 12. ISSN: 2410-4000, pages 25-36.

Semarnat. (2012), Elaboración propia con base en: Coordinación del Programa de Cambio Climático y Consejo Nacional de Población (Conapo). Proyecciones de la población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009. Abril. 2013. México.

SIMAJ (2018). Sistema de monitoreo atmosférico de Jalisco. Secretaria de medio ambiente y desarrollo territorial <http://siga.jalisco.gob.mx/aire/Infra.html>

Tovilla, J. et al. (2015). Pathways to deep decarbonization in Mexico, SDSN – IDDRI.

## Desarrollo de un sistema inalámbrico escalable de medición de humedad del suelo en un cultivo de vid

### Development of a scalable wireless soil moisture measuring system for grape vine cultivation

ORTEGA-CORRAL, César<sup>1†\*</sup>, EATON-GONZÁLEZ, B. Ricardo<sup>2</sup>, LÓPEZ CRUZ, Florencio<sup>1</sup>, DÍAZ-SANTANA ROCHA, Laura Rocío<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Tijuana, Depto. de Tecnologías de la Información

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica de Tijuana, Depto. de Tecnología Ambiental en Biotecnología

ID 1<sup>er</sup> Autor: César, Ortega-Corral / ORC ID: 0000-0001-5312-7521, CVU CONACYT ID: 90967 Candidato SNI

ID 1<sup>er</sup> Coautor: B. Ricardo, Eaton-González / ORC ID: 0000-0003-4528-4740, CVU CONACYT ID: 94473

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Florencio, López Cruz / ORC ID: 0000-0002-8541-9569, CVU CONACYT ID: 295727

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Laura Rocío, Díaz-Santana Rocha / ORC ID: 0000-0002-8540-2595, CVU CONACYT ID: 467699

DOI: 10.35429/JTEN.2020.14.4.20.30

Recibido 03 de Junio, 2020; Aceptado 30 Octubre, 2020

#### Resumen

Se presenta un sistema inalámbrico aplicado a la agricultura de precisión, se trata de nodos sensores que miden la humedad del suelo a diferentes profundidades en cultivos vitivinícolas, donde se aplica riego por goteo. La intención es implementar un sistema para facilitar el escalamiento, y crear una red de nodos (WSN, "Wireless Sensor Networks"), que se comuniquen por radiofrecuencia con una estación base (ET), para que se almacenen los datos localmente y que les de salida al Internet.

**Sensores, Humedad del suelo, Red inalámbrica de sensores**

#### Abstract

We present a wireless system applied to precision agriculture, made up of sensor nodes that measure soil moisture at different depths, applied to vine crops where drip irrigation is applied. The intention is to prepare a system for scaling, and to create a Wireless Sensor Network (WSN) that communicates by radio frequency with a base station (ET), so that the gathered data is stored locally and can be sent out an Internet gateway.

**Sensors, Soil moisture, Wireless sensor networks**

**Citación:** ORTEGA-CORRAL, César, EATON-GONZÁLEZ, B. Ricardo, LÓPEZ CRUZ, Florencio, DÍAZ-SANTANA ROCHA, Laura Rocío. Desarrollo de un sistema inalámbrico escalable de medición de humedad del suelo en un cultivo de vid. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2020. 4-14: 20.30

\* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: cesar.ortegac@uttijuana.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El agua dulce es un recurso que en muchas regiones cada vez es más escaso, y aunque en ciertos lugares se sigue practicando riego por inundación, en zonas de poca lluvia, donde no hay ríos, cuerpos de agua de almacenamiento y existen tierras que se consideran áridas y semi-áridas, como en Baja California, el riego por goteo es necesario para optimizar el consumo hídrico (Medellín-Azuara et. al, 2013, Malinowski, 2004). En estos sitios, es entonces cuando la medición de la cantidad de humedad del suelo es imprescindible, dado que es útil para calcular la cantidad de agua que se requiere regar para mantener un balance hídrico favorable en el suelo para el tipo de cultivo, para el beneficio de la vegetación que crece y para no agotar los mantos freáticos (Bonamente et. al, 2015, Del Toro-Guerrero et al., 2018, Newhouse et. al., 2014).

La medición de humedad del suelo se suele hacer de diversos modos (Kaur et. al., 2016), tales como: 1) determinando el volumen de humedad en el suelo tomando una muestra de tierra, pesándola, luego se ingresan a un horno para secarla, y se vuelve a pesar, lo que constituye un método tardado y es tradicional; otra forma es 2) usando dispositivos mecánicos llamados “irriómetros” que mediante diferencias de presión determinando la tensión que produce el vapor de agua que contiene el suelo, en este método se requiere ir al sitio para ver el indicador de aguja, que muestra el contenido hídrico relativo; o la forma de mayor costo 3) usando instrumentación electrónica, para lo cual hay diversos sensores (resistivo-conductivos, capacitivos y de tiempo de reflexión electromagnética).

Tradicionalmente, los datos que se adquieren mediante este método, se guardan en un sistema tipo “data-logger”, con la dificultad de tener que ir a campo por las mediciones, igual que al usar “irriómetros”. Ahora, es posible usar tecnologías inalámbricas combinadas, como la creación de una red inalámbrica de sensores con el uso de alguna estación base, o de un “Gateway” que dé salida de los datos hacia el Internet por WiFi, o con el uso de módems GPRS (“General Packet Radio Systems) que permite transferencia de datos mediante telefonía celular.

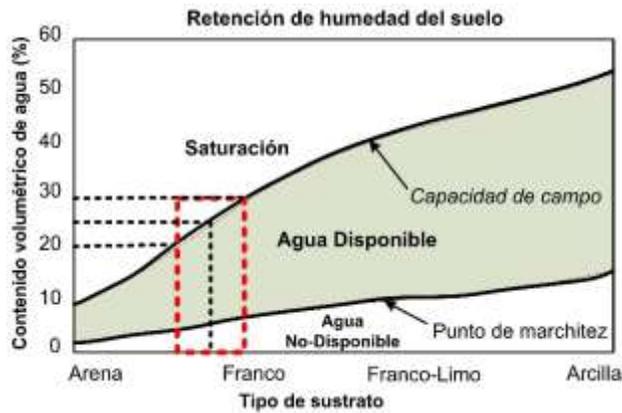
Por lo que la tendencia en instrumentación a distancia es la telemetría, y ahora implementada aprovechando tecnologías del conocido “Internet of Things”, o IoT, (Internet de las Cosas en español) (Shahzadi, 2016).

## Antecedentes Humedad del Suelo

La cantidad de humedad que puede retener el suelo de un cultivo tiene relación con de las cualidades de la tierra que lo constituye. Esto depende de los componentes o tipos del sustrato, tales como: arena, limo, o arcilla; usualmente es una combinación de algunos de éstos sustratos, como el suelo franco (o marga, que representa la combinación de arena, limo y arcilla en las mismas cantidades equivalentes). La arena es el sustrato que menos retiene agua, mientras que la arcilla tiene el mayor grado de retención hídrica.

La combinación de sustratos hace que los suelos tengan muy variadas proporciones de retención. La cantidad de humedad del suelo se puede medir de manera normalizada (volumen de agua por unidad de volumen de tierra,  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  o  $\text{in}^3/\text{in}^3$ ) o de forma relativa (por porcentaje de volumen de agua contra porcentaje de volumen de tierra). Ésta última es la forma preferida, pero no única, porque se puede aplicar a cualquier tipo de suelo, esto se ha estudiado extensamente y se han determinado rangos de humedad óptima para los cultivos de acuerdo al tipo de suelo.

En la Figura 1, se presenta una interpretación de dichos rangos, donde destacan tres regiones: 1) agua no disponible al margen de la “marchitez” (cuando la cantidad de agua es insuficiente para la vegetación), 2) agua disponible al margen de lo que se conoce como “capacidad de campo” (o cuando la cantidad del agua es suficiente y adecuada para la vegetación), y 3) saturación (o exceso de la cantidad de agua) por encima de la capacidad de campo, y es cuando la vegetación es afectada adversamente si se expone por tiempo prolongado a esta condición. Al estar saturado el suelo, la vegetación es incapaz de absorber agua y el efecto se invierte, el suelo entonces extrae el agua desde las raíces.



**Figura 1** Rangos del contenido hídrico del suelo contra tipo de suelo

Fuente (Zotarelli et. al., 2010)

Cabe mencionar que en la Figura 1, el área marcada por el recuadro con acotamiento rojo, indica el tipo de suelo característico de la zona del Valle de Guadalupe, B.C., se trata de tierra mezclada entre tierra franca y arena caliza. Lo que implica rangos de humedad de: (1) marchitez debajo de 7% en promedio, (2) agua disponible de 8% a 24%, al límite de la Capacidad de Campo, y (3) saturación del suelo de 25% en adelante. Entre más cerca al cauce de algún arroyo o río el sustrato es más arenoso.

Hay diferentes criterios entre agricultores sobre el manejo de humedad del suelo, uno de los más aceptados es que se active y desactive el riego para mantener los niveles por encima de la marchitez y por debajo de la capacidad de campo. Pero este criterio depende de la disponibilidad inmediata del recurso hídrico para efectuar el riego, lo cual depende del costo del agua y del presupuesto disponible. Otro criterio, particularmente en viñedos con recursos hídricos limitados, y que se aplica por cuestiones presupuestales justo semanas antes de la cosecha, es el de efectuar el riego por encima de la capacidad de campo y mantener saturada la tierra en dos o tres días para que el fruto aumente de volumen lo más posible sin dañar las raíces de la parra, y se hace en ráfagas supervisadas a partir de que se tenga suficiente agua. Con base en lo anterior y de acuerdo a la práctica agrícola de riego en el sitio de estudio, en este trabajo, se puso a prueba el prototipo para la medición de humedad del suelo que aquí se presenta, justo en un viñedo donde se aplica dicho criterio de saturación corta antes de la cosecha, y los resultados que se obtuvieron reflejan la variabilidad hídrica de acuerdo a tales acciones de riego.

## Sensores de humedad del suelo

Los sensores disponibles para medir la humedad del suelo tienen en común un tiempo de vida relativamente corto, de semanas o días. Los sensores resistivos-conductivos son los más frágiles, deben estar en contacto directo con tierra húmeda y sus láminas conductoras se corroen o sulfatan en pocos días bajo esas condiciones (Brillante et. al, 2015). Entre más húmedo o conductivo está el sustrato del suelo, en menor tiempo se dañan los puntos de contacto por corrosión.

A estos sensores le siguen los del tipo capacitivo (Radi et. al. 2018), usualmente compuestos también por dos placas cuyo dieléctrico es el sustrato donde se entierran, y aunque suelen tener un recubrimiento impermeable, éste es muy delgado con la intención de no afectar su sensibilidad ante cambios de capacitancia del suelo; y en consecuencia, los sensores capacitivos al estar por tiempo prolongado enterrados en un suelo húmedo, tal recubrimiento se daña hasta que permite que la humedad se ponga en contacto con las placas metálicas en su interior, y donde se acumula agua hasta que fallan después de unas semanas.

Por último, los sensores más longevos son los sensores reflecto-métricos del dominio del tiempo (TDR, “time domain reflectometric”), operan bajo el principio de reflexión, están compuestos por dos electrodos de acero inoxidable o placas conductoras aisladas, desde uno de los electrodos se emite una señal EM que refleja el electrodo vecino (Dalton, 1986); su circuitería electrónica determina el tiempo que tarda en reflejarse la señal EM el cual es proporcional a la humedad que hay en el sustrato donde está enterrado el sensor, por lo que es un dispositivo complejo y de alto costo, esto impide que se pueda escalar dicha tecnología por su alto costo. La fragilidad del sensor TDR reside en su electrónica, que se daña fácilmente en presencia de humedad, pero su tiempo de vida se prolonga meses o quizá años comparándolo con sensores de bajo costo, lo cual depende de la calidad de su fabricación. En este trabajo, se usaron sensores del tipo capacitivo de humedad del suelo, o “capacitive soil moisture” SKU:SEN0193, Figura 2, porque son más duraderos que los conductivos, y de mucho menor costo que los TDR.



**Figura 2** Sensor capacitivo SKU:SEN0193 que mide la capacitancia del suelo, y de ahí se infiere el contenido de humedad

Por lo regular, los sensores capacitivos, como el de la Figura 2, los venden con la electrónica expuesta, por lo que hay que agregarles un recubrimiento impermeable. Así mismo, la parte debajo de la línea blanca del sensor SKU:SEN0193 es el capacitor, formado por dos placas que están ligeramente cubiertas con pintura, para que afecte a su sensibilidad lo menos posible.

Por otra parte, este tipo de sensor (al igual que el tipo conductivo) se usa mayormente como un indicador discreto de tres estados de humedad: (1) tierra seca, (2) tierra húmeda y (3) tierra saturada con agua. En este trabajo, se decidió implementar el sensor capacitivo SKU:SEN0193 (o simplemente SEN0193) usando una referencia calibrada para hacer la comparación en inferencia a partir de su respuesta.

### Tierra de cultivo y calibración de sensores de humedad del suelo

En el proceso de caracterizar la respuesta de los sensores capacitivos de humedad del suelo, se utilizó como referencia un sensor de alto valor, conectado a un sistema de acondicionamiento y de interfaz con el usuario llamado LabQuest, Figura 3, de la marca Vernier (Vernier Software and Technology, 2017).

Esté dispositivo con su sensor de humedad del suelo, arroja valores de humedad relativa del suelo de 0% a 100%. Y optamos por calibrar la referencia a partir de muestras de tierra de un sitio llamado Viñedo El Mogor, ubicado en el Valle de Guadalupe, Baja California, que es donde finalmente se hicieron las pruebas de campo.



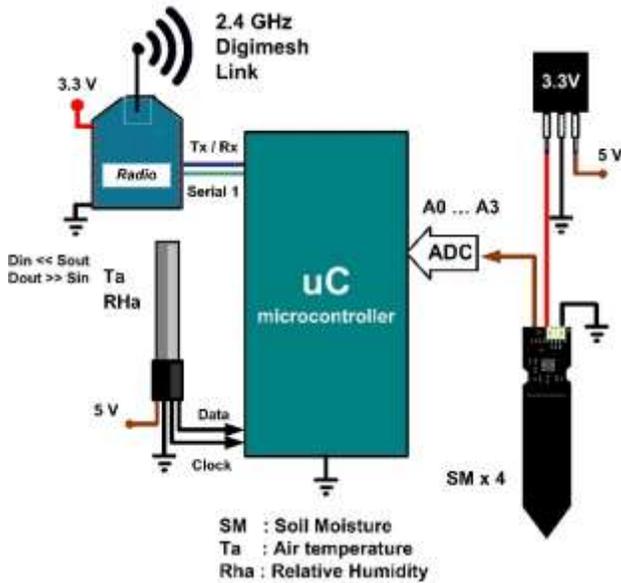
**Figura 3** Sensor de humedad del suelo y plataforma LabQuest usados como referencia para calibrar sensores  
*Fuente: Elaboración propia*

El procedimiento para la calibración fue a partir de muestras de suelo extraídas del Valle de Guadalupe, las muestras se secaron en un desecador, y se agregó un volumen medido de agua, tal que en el rango inferior fue una mezcla de 95% de tierra y 5% de agua, y el rango superior fue una mezcla de 70% de tierra y 30% de agua (que adquirió la textura de lodo).

### AgroNodo: Nodo inalámbrico de sensores de humedad del suelo

En este desarrollo, se integró un nodo inalámbrico con cuatro sensores capacitivos de humedad del suelo SEN0193, incluyendo un sensor de temperatura y humedad relativa del aire SHT-10, con protector resistente a la intemperie colocado dentro de un escudo solar. El sistema microcontrolador es el conocido Arduino MEGA, se seleccionó por facilidad de una rápida implementación y que tiene varios puertos serie y varias entradas analógicas, para futura expansión (Arduino, 2020). En cuanto a los sensores capacitivos SEN0193, son de muy bajo costo, sus placas tienen un recubrimiento impermeable delgado color negro, su electrónica la constituye un LM555 (Texas Instruments Inc., 2015), el cual produce una señal periódica cuadrada de voltaje que cambia con la proporción de humedad en el suelo donde se entierran las placas.

El nodo es inalámbrico porque se enlaza con una estación base mediante radios XBee Pro operando a 2.4GHz, con alcance en distancia de hasta 1.5Km (Digi International, 2009). Con el protocolo DigiMesh, se crean redes de XBee, ampliando el alcance en la comunicación de datos (Digi Intl., 2016). En la Figura 4 se muestra la integración de los componentes del nodo de sensores, que aquí se denomina AgroNodo.



**Figura 4** Integración del nodo de sensores inalámbrico  
*Fuente: Elaboración Propia*

Los cuatro sensores SKU:SEN0193 arrojan valores útiles para determinar el grado de penetración del agua en el suelo de cultivo; así como de la retención hídrica del sustrato particular. Los sensores se colocan a diferentes profundidades de tierra, cercanas a las raíces de la vegetación que se cultiva, en este caso en las raíces de la parra de interés.

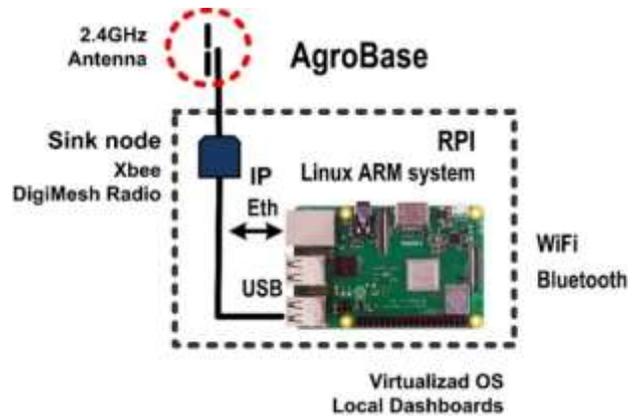
Por otro lado, para que el AgroNodo opere en el campo, lejos de conexiones eléctricas, se alimenta con una batería de 12V de CD de 7Ah (Amper-horas) de capacidad. Esta batería se recarga a través de un controlador de carga de 12V alimentado por un panel fotovoltaico poli-cristalino de 17V CD y de hasta 50W.

**AgroBase - Estación Base de la red de sensores de humedad del suelo**

La tarea de los nodos de sensores inalámbricos, es de recolectar datos de humedad del suelo y medio ambiente, y crear un mensaje con un protocolo y de transmitirlo periódicamente, dirigido a un destinatario particular, usualmente llamado estación base (o BS, “Base station”) (More, 2016).

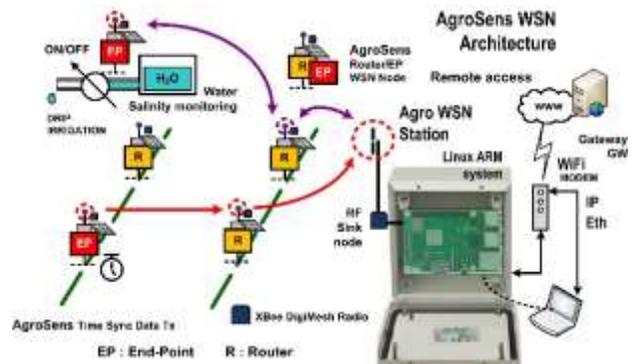
En este caso, en el centro de la BS se usa la computadora miniatura conocida como Raspberry PI 3 Model B+, o RPI, con sistema operativo conocido como Raspbian (Raspberry PI, 2020).

EL RPI funciona como servidor ligero y puesto en interfaz con un radio digital XBee Pro, habilitado el protocolo DigiMesh para asegurar la entrega de paquetes, a través de software desarrollado en Python, se crean redes inalámbricas que transmiten mensajes codificados con los datos de los sensores de humedad del suelo, temperatura y humedad del aire. La estación base se muestra en la Figura 5.



**Figura 5** Componentes de la Estación Base.  
*Fuente: Elaboración Propia*

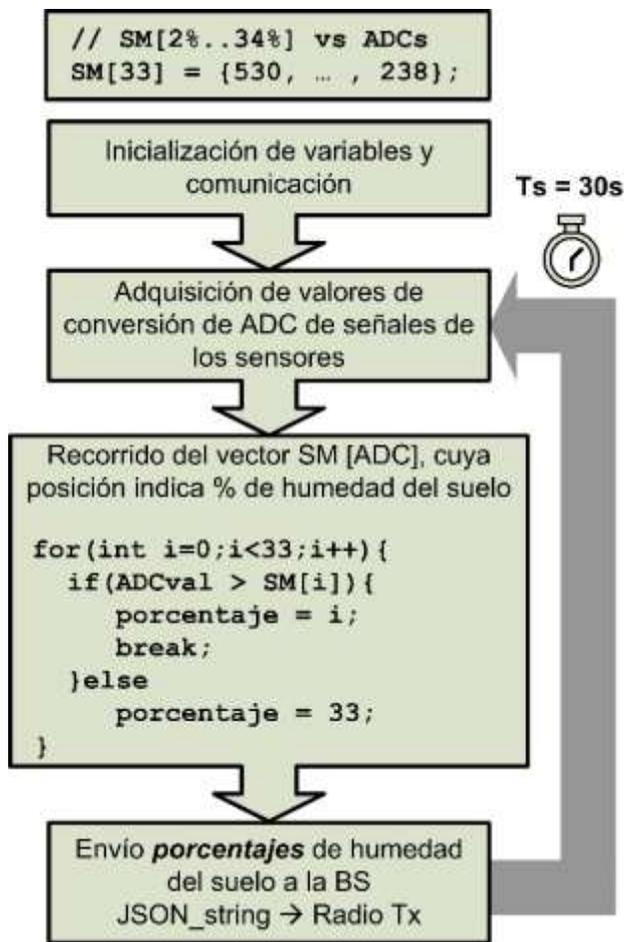
El módulo XBee Pro habilitado con DigiMesh, protocolo propietario del fabricante, es capaz de crear redes en malla, estableciendo las rutas más confiables para garantizar entrega inalámbrica de datos. En la Figura 6 se muestra la topología de un sistema completo de riego por goteo usando esta WSN, que incluye la posibilidad de controlar bitácoras de riego a distancia, con un nodo especializado en abrir o cerrar una electroválvula del sistema de mangueras de riego por goteo.



**Figura 6** WSN de multi-saltos con salida al gateway  
*Fuente: Elaboración Propia*

En la Figura 6, los nodos sensores terminales o “end points”, EP, son nodos que generan mensajes que contienen datos adquiridos periódicamente de los sensores y que se destinan a la estación base, que aquí es llamada Agro WSN Station.

Los nodos cuando no son EP, son enrutadores o “routers”, R, sirven de puntos multi-salto en la red de nodos que se crea para asegurar que los mensajes logren su destino. En la Figura 7 se muestra el diagrama a bloques del algoritmo de muestreo que se ejecuta en el nodo sensor.



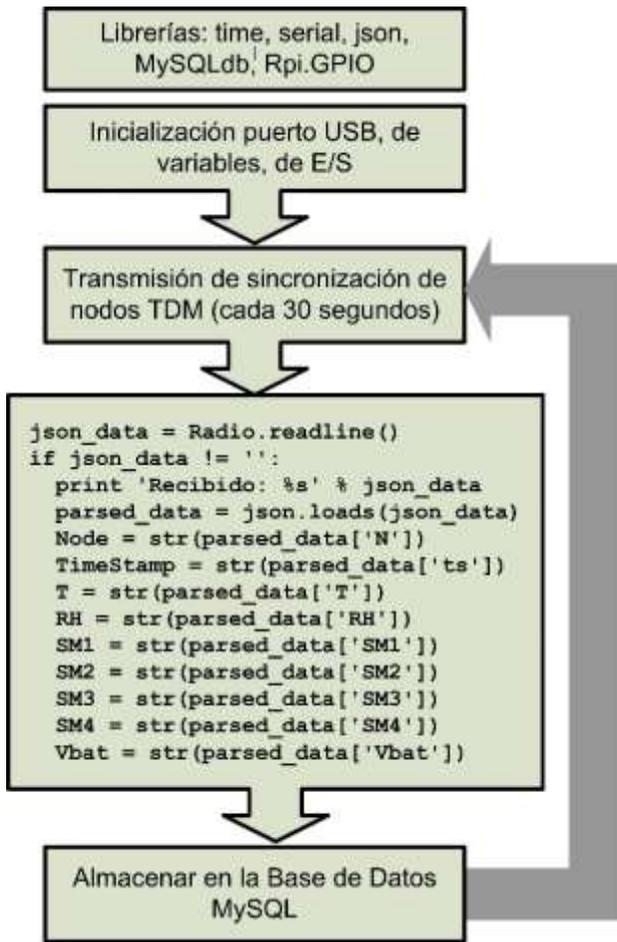
**Figura 7** Diagrama a bloques del algoritmo del nodo  
Fuente: Elaboración Propia

En el momento que se cumple el periodo de muestreo y de envío, los nodos sensores se vuelven EP. Los mensajes de los Agro-Nodos se codifican usando el conocido protocolo JSON (“JavaScript Object Notation”), mediante el cual se pueden estructurar los datos para facilitar su extracción del mensaje. Por otro lado, para evitar hacer cálculos después del muestreo, el software de los nodos sensores SEN0193 incorporan un vector denotado por SM[ ], el cual representa un arreglo de valores de conversión analógica a digital (dentro de un rango de 10 bits) contra valores medidos con la referencia calibrada Vernier LabQuest. Es decir, ya se había hecho la caracterización de los sensores SEN0193 a diferentes contenidos de humedad, usando muestras preparadas de tierra extraída del campo.

Y como se mencionó, este método se implementa porque no se requieren cálculos en el microcontrolador, lo cual optimiza el uso de recursos de sistema digital. Los valores del vector SM del algoritmo del AgroNodo, de acuerdo al tipo de sustrato obtenido, se encuentran entre 530 cuentas del ADC para 2% de humedad, y desciende hasta 238 cuentas del ADC cuando se mide 33% de humedad por el LabQuest. El sustrato particular con el que se trabaja se satura en alrededor 30%.

Del otro extremo, el programa de la estación base, se desarrolló usando el lenguaje conocido como Python, es nativo de los sistemas operativos Linux, y en Raspbian del RPI no es excepción. El radio XBee con antena de 2dB se instaló en un módulo de interfaz USB, y se conectó a uno de los puertos del RPI. Mediante Python se ejecutan las instrucciones que leen los datos que recibe del XBee mediante USB, en este caso de los nodos de la misma WSN.

La estación base envía cada 30 segundos un mensaje de sincronía en un esquema TDM (“Time División Multiplexing”), bajo el cual cada nodo en la red envía su mensaje de mediciones en el turno que le corresponde para evitar colisión de envíos conforme crezca la WSN. Por otro lado, cuando la BS recibe un mensaje de algún AgroNodo, éste pasa por un proceso de decodificación de acuerdo al protocolo JSON. En la Figura 8 se muestra el diagrama a bloques del software que se ejecuta en la Estación Base.



**Figura 8** Diagrama a bloques del algoritmo la Estación Base

Fuente: *Elaboración Propia*

Después que el software de la Estación Base logra decodificar el mensaje JSON que proviene de un AgroNodo, procede extrayendo los datos que contiene. Luego la BS realiza una conexión a su Base de Datos MySQL y procede en almacenar los datos respectivos en la tabla correspondiente del AgroNodo.

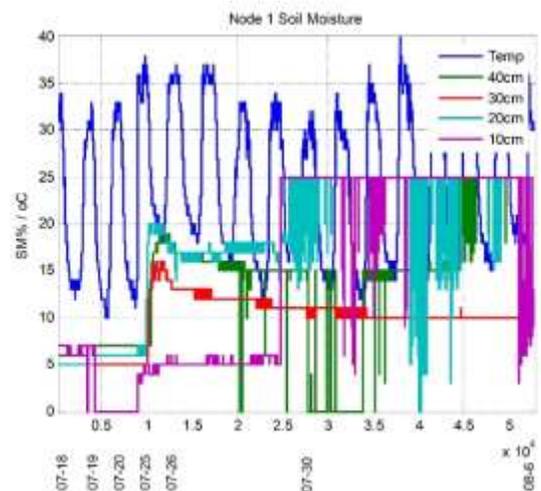
**Pruebas iniciales de campo**

Para determinar el desempeño real, se instaló una estación base y un AgroNodo en el Viñedo El Mogor, del Valle de Guadalupe, Baja California. El nodo se colocó justo debajo de una parra, y los sensores SEN0193 se enterraron al costado de las raíces, a cuatro profundidades (10, 20, 30 y 40 cm) Figura 9.



**Figura 9** Nodo de sensores con su respectivo panel solar  
 Fuente: *Elaboración Propia*

Las mediciones iniciales usando los sensores SEN0193 registraron valores inestables desde saturación hasta en cero, como se observa en la Figura 10; lo cual dio una indicación que los sensores SEN0193 fueron afectados adversamente por la humedad.



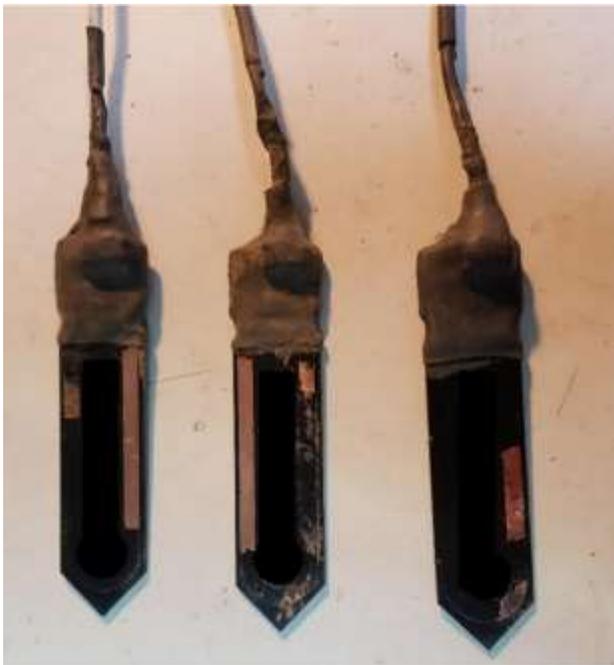
**Figura 10** Mediciones de temperatura y de humedad del suelo a cuatro profundidades, se dañaron tres sensores de humedad del suelo

Fuente: *Elaboración Propia*

Después de inspeccionar a los sensores SEN0193 retirados del suelo, fue visible el daño de los sensores debido a que el suelo se saturó con un goteo de 36 horas, y aparentemente el aislante de los sensores fue insuficiente para evitar las fallas. El sensor SEN0193 superficial a 10 cm de profundidad se dañó desde su instalación, posiblemente porque se raspó y se le cayó el aislante.

En las profundidades de 20, 30 y 40 cm, respectivamente, los sensores funcionaron correctamente a partir de su instalación y desde el inicio del riego por goteo; pero después del segundo día del goteo, el sensor de 40 cm de profundidad registró lecturas fallidas, seguido dos días después por el sensor a 20 cm. En cambio, el sensor SEN0193 a 30 cm de profundidad funcionó y registró valores estables hasta el momento de su extracción. En la Figura 11 se muestran los sensores SEN0193 dañados (10 cm, 20 cm y 40 cm).

En el primer caso, 10 cm, al instalar el sensor se removió la pintura aislante poniendo en contacto directo a la placa de cobre; es decir, se raspó el sensor con el sustrato. Por otro lado, los otros sensores SEN0193 se dañaron debido a que la tierra saturada de humedad, y el peso de la misma sobre el sensor debilitó al recubrimiento aislante y provocó ingreso de humedad mojando sus placas de cobre, y mitigando la medición capacitiva.



**Figura 11** Sensores SEN0193 dañados, la humedad permeó su recubrimiento de pintura  
Fuente: *Elaboración Propia*

Para resolver el problema de daño de los sensores SEN0193, se buscaron alternativas para recubrir a los sensores con capas adicionales de aislante, lo cual afectó adversamente a su sensibilidad en las mediciones, se eliminó por completo el recubrimiento se pintó de nuevo con pintura vinílica, lo cual también empeoró su sensibilidad.

Lo que funcionó fue usar un recubrimiento muy ligero de hule líquido, Figura 12, el cual se deposita con aerosol, se agregó en capas muy delgadas, reduciendo la sensibilidad en el menor grado posible, su respuesta fue verificada comparándola con la referencia LabQuest.



**Figura 12** Sensor CSM cubierto por hule  
Fuente: *Elaboración Propia*

Se procedió en re-calibrar usando tierra preparada previamente con diferentes contenidos de humedad. Esto permitió volver a obtener puntos discretos de las cuentas del ADC contra porcentajes de humedad medidos de cada muestra con el Vernier LabQuest, aunque el rango se redujo, fue posible precisar valores discretos en pasos de 1% cercano a la zona de saturación (de 25% a 33%). Con estos ajustes hechos en el software del AgroNodo, se realizó una segunda implementación de los sensores SEN0193 y fueron puestos en operación durante una semana, para obtener gráficas históricas de la humedad a diferentes profundidades del suelo, y determinar el grado de afectación que tiene el proceso de riego por goteo a lo largo de días consecutivos.

## Resultados

La re-instalación de los sensores fue en el mismo sitio, Viñedos El Mogor, y aunque la sensibilidad de los sensores se redujo por el recubrimiento de hule, fue aceptable la variación de +/- 1% con respecto a la escala completa. En las Figura 13 a la Figura 16 se muestran los valores de humedad del suelo de ocho días; dónde se logró medir de manera remota el riego por goteo, a diferentes profundidades:

El riego se activó durante tres horas en el 3er día, también en el 4to día y lo mismo en el 5to día de la implementación. La intención del administrador del campo de cultivo fue saturar el suelo días antes de la cosecha para que el fruto se hidratara al máximo



**Figura 13.** Humedad del suelo a 10cm de profundidad  
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 14.** Humedad del suelo a 20cm de profundidad  
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 15.** Humedad del suelo a 30cm de profundidad  
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 16** Humedad del suelo a 40cm de profundidad  
Fuente: Elaboración Propia

Según las figuras 13 a la 16, la retención de humedad fue menor a 10 cm de profundidad, se infiere que la radiación solar estimula la evaporación por ser una región cercana a la superficie. Y en general se observa que la humedad que se filtró se retiene en buena medida a otras profundidades, pues sólo bajó 5% por día a 30cm y 40cm de profundidad, y se mantuvo así en el margen entre saturación y de capacidad de campo.

### Agradecimiento

Agradecemos a la Gerencia de Viñedos El Mogor, del Valle de Guadalupe, B.C., México, por su disposición en apoyar a todo tipo de experimentación científica en sus instalaciones. Y agradecemos particularmente al Ing. Santiago Torres, agrónomo que administra los campos de cultivo de El Mogor. El Ing. Torres nos permitió acceso para realizar la instalación de la estación base y nodo de sensores, y en visitas subsecuentes. Fue valiosa su participación también porque sugirió en qué punto del viñedo sería adecuado instalar los sensores para su mejor apreciación del riego por goteo.

### Conclusiones

Fue posible la medición de la humedad del suelo de manera remota y a través de la red de nodos establecida, se concluye que la implementación del sistema es posible y es escalable, también que el sistema puede mantenerse operando indefinidamente por el uso de energía solar para mantener a los nodos funcionando, situación altamente favorable en sitios como los viñedos en el Valle de Guadalupe, dado que comúnmente no se cuenta con suministro de energía eléctrica en campo o cercana a los sitios de cultivo.

La limitante en implementar este tipo de sistemas son propiamente los sensores de humedad del suelo, ya que son afectados por las condiciones físicas adversas al estar enterrados en tierra húmeda y saturada, además de que el tipo de suelo por su textura y contenido de sal, pueden extremar las micro-condiciones de operación del sensor. Los sensores capacitivos de bajo costo no están hechos para operación prolongada bajo tales condiciones. El recubrirlos con capas adicionales de aislante de humedad mitiga su sensibilidad y reduce el rango de las mediciones.

Por lo que debe hacerse un análisis cuidadoso del costo beneficio que implica el uso de dichos sensores, pues si se tienen que sustituir continuamente, la ganancia de implementar tales sensores se reduce o anula por el costo operativo de hacer trabajo de campo para tales efectos, en lugar de colocar sensores longevos, como los TDR, aunque implique elevar el costo del sistema.

## Referencias

- Arduino (2020). Arduino MEGA 2560 <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>.
- Brillante, L., Mathieu, O., Bois, B., Van Leeuwen, c, & Lévêque, J.. (2015). The use of soil electrical resistivity to monitor plant and soil water relationships in vineyards. *SOIL*, 1, 273–286, 2015. [www.soil-journal.net/1/273/2015/](http://www.soil-journal.net/1/273/2015/). doi:10.5194/soil-1-273-2015.
- Bonamente, E., Scrucca, F., Asdrubali, F., Cotana, F. & Presciutti, A.. (2015). The Water Footprint of the Wine Industry: Implementation of an Assessment Methodology and Application to a Case Study. *Sustainability Open Access Journal*. 12190-12208;
- Bongiovanni, R., Lowenberg-DeBoer, J. (2004). Precision Agriculture and Sustainability. *Journal Precision Agriculture* 5(4):359-387. DOI: 10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa
- Dalton, F.N., Van Genuchten, M.Th.. (1986). The time-domain reflectometry method for measuring soil water content and salinity. Elsevier Pub. *Geoderma Journal*. Volume 38, Issues 1–4, September 1986, Pages 237-250.
- Del Toro-Guerrero, F.J., Vivoni, E.R., Kretschmar, T, Runquist, S.H.B., & Vázquez-González, R.. (2018). Variations in Soil Water Content, Infiltration and Potential Recharge at Three Sites in a Mediterranean Mountainous Region of Baja California, Mexico. *Water, Open Access Journal* (ISSN 2073-4441).
- Digi International Inc. (2009). XBee®/XBee-PRO® RF Modules. Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol.
- Digi Intl. (2016). XBee/XBee-PRO DigiMesh 2.4. Radio Frequency (RF) Module User's Guide.
- Kaur, K., Mahajan, R., Bagai, D. (2016). A Review of Various Soil Moisture Measurement Techniques. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. ISSN (Online): 2319-8753. ISSN (Print): 2347-6710
- Mackenzie, D.E., Christy, A.G.. (2005). The role of soil chemistry in wine grape quality and sustainable soil management in vineyards. *Water Science and Technology*. Vol. 51, No 1 pp 27–37.
- Malinowski, J.P. (2004). Water Supply and Prospects in Baja California. Master's Thesis. University of California at Davis. U.S.A.
- Medellín-Azuara, J., Mendoza-Espinosa, L., Pells, C., & Lund, J.R.. (2013). Pre-Feasibility Assessment of a Water Fund for the Ensenada Region Infrastructure and Stakeholder Analyses. The Nature Conservancy.
- More, S.N., Nighot, M. (2016). A Review of Wireless Sensor Network for Agriculture. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. Volume: 4 Issue: 6. ISSN: 2321-8169.
- Newhouse, K., Wan, A., Wightman, S. (2014). Lessons from the 2014 Drought: Water Conservation and California Vineyards. Dow Sustainability Fellowship White Paper. University of Michigan School of Natural Resources and Environment.
- Radi, Murtiningrum, Ngadisih, Muzdrikah, F. S., Nuha, M.S, Rizqi, F.A.. (2018) Calibration of Capacitive Soil Moisture Sensor (SKU:SEN0193). 4th International Conference on Science and Technology (ICST), Yogyakarta, Indonesia.
- Raspberry PI (2020). Raspberry Pi 3 Model B+ <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- Shahzadi, R. et al. (2016). Internet of Things based Expert System for Smart Agriculture. (IJACSA) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 7, No. 9, 2016.

Shortt, R., Verhallen, A., & Fisher, P. (2011). Monitoring Soil Moisture to Improve Irrigation Decisions. FactSheet Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Ontario, Canada. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/11-037.htm>

Texas Instruments Inc. (2015). LM555 Timer Data Sheet. SNAS548D, Texas Instruments Incorporated.

Vernier Software and Technology. (2017) Vernier LabQuest™ Reference Guide Version 1.1.

Zotarelli, L., Dukes, M.D., Morgan, K.T. (2010) Interpretation of Soil Moisture Content to Determine Soil Field Capacity and Avoid Over-Irrigating Sandy Soils Using Soil Moisture Sensors. AE460 University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences: Gainesville, FL.

## Propuesta de un sistema de comunicación inalámbrico para una red de sensores bajo el agua en tiempo real aplicado a un sistema ROV

### Proposal of a Study and implementation of a wireless communication system for a network of underwater sensors in real time applied to a ROV system

REYES-DE COSS, José Cuauhtémoc†\*, RODRÍGUEZ-BLANCO, Marco Antonio y SÁNCHEZ-LARA, Rafael

Universidad Autónoma del Carmen, Facultad de Ingeniería y Tecnología.

ID 1<sup>er</sup> Autor: José Cuauhtémoc, Reyes-De Coss / ORC ID: 0000-0002-3419-905X, Researcher ID Thomson: AAP-3078-2020, CVU CONACYT ID: 920250

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Marco-Antonio, Rodriguez-Blanco / ORC ID: 0000-0003-3641-6895, Researcher ID Thomson: U-6476-2017, CVU CONACYT ID: 51908

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Rafael, Sanchez-Lara / ORC ID: 0000-0001-6587-1972, Researcher ID Thomson: AAP-3094-2020 CVU CONACYT ID: 88144

DOI: 10.35429/JTEN.2020.14.4.31.39

Recibido 03 de Junio, 2020; Aceptado 30 de Octubre, 2020

#### Resumen

En este trabajo se presenta una propuesta de un enfoque novedoso en comunicaciones de radio frecuencia aplicado a una red de sensores inalámbricas submarinas UWSN (Underwater Wireless Sensor Networks). La propuesta es manipular en un ambiente controlado y acotado, un vehículo operado remotamente ROV (Remote Operated Vehicle) sin cable umbilical mediante una red de sensores bajo el agua en base a comunicación por radio frecuencia, aprovechando las facultades de esta comunicación bajo el agua en conjunción con una red de sensores. Adicionalmente, se emplea *redundancia dinámica* en los transmisores hacia el ROV para incrementar el rango de alcance y evitar la pérdida de comunicación., además, se utiliza *redundancia estática* en el receptor ubicado en ROV para incrementar la confiabilidad en la comunicación. La parte de los sensores receptores del ROV se basa en una triple redundancia que facilita la toma de votos para poder obtener una tolerancia a fallas más optima. En la red de sensores se aplica *redundancia dinámica* en los transmisores para poder seguir manteniendo la comunicación con el ROV, en caso de falla se puede compensar la pérdida de comunicación con otro sensor de la red que tomara su función.

**Red de sensores inalámbricas submarinas, Vehículo operado remotamente, Redundancia**

#### Abstract

This work a novel approach in radio frequency communications applied to a underwater wireless sensors network UWSN is presented. The proposal is to manipulate in a bounded and controlled environment a Remote Operated Vehicle ROV without umbilical cable through a underwater sensors network based on radio frequency communication, taking advantage of the faculties of this underwater communication in conjunction with a sensor network, further, a *dynamic redundancy* is used in the transmitters towards the ROV to increasing the range and avoiding communication loss, additional a *static redundancy* is applied on the receiver to increase te reliability of communication. The part of the ROV receiving sensors is based on a *statisic redundancy* of 3 sensors which will apply a vote taking in order to failure tolerantce, the sensor network will applied a *dinamic redundancy* in the transmitters in order to follow the communication with the ROV, in case of failure, the communication loss can be compensated with another sensor of the network that will take its role.

**Underwater Wireless Sensor Networks, Remote Operated Vehicle, Redundancy**

**Citación:** REYES-DE COSS, José Cuauhtémoc, RODRÍGUEZ-BLANCO, Marco Antonio y SÁNCHEZ-LARA, Rafael. Propuesta de un sistema de comunicación inalámbrico para una red de sensores bajo el agua en tiempo real aplicado a un sistema ROV. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2020. 4-14: 31-39

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Con el desarrollo de la microelectrónica, la electrónica, las TIC y la automática, se ha producido el avance de sistemas de adquisición inalámbricos (SAI) los que han impactado, de forma importante, en la salud, la monitorización de variables medioambientales, la agricultura de precisión (AP), la agropecuaria, la industria, los servicios, la domótica e inmótica. (Hurtado, 2020)

Usualmente las redes inalámbricas subacuáticas usan ondas acústicas como medio de transmisión actualmente (Partan, 2006), pero cabe decir que las posibilidades de los módems acústicos de obtener un mejor desempeño es muy remota y los enlaces ópticos submarinos no son muy prácticos en muchas aplicaciones (Murad, A. Sheikh, Asif Manzoor, Felemban, & Qaisar, February 2015). Los requisitos modernos actualmente junto con las nuevas tecnologías de comunicaciones digitales nos obligan a reevaluar el papel de las señales electromagnéticas en aplicaciones submarinas.

En diferentes sectores, tanto en la industria petrolera, operaciones militares y ambientales exigen aplicaciones de enlace de datos confiables, sin conectores y de corto alcance por lo que las comunicaciones de radio frecuencia en el entorno submarino son una gran opción para los diferentes tipos de aplicaciones. (Che, Wells, Dickers, Kear, & Gong, December 2010)

Con respecto a las comunicaciones submarinas existen tres tipos (Gkikopouli, Nikalakopoulos, & Manesis, 2012), las comunicaciones acústicas que son actualmente las más utilizadas en diferentes aplicaciones submarinas, las comunicaciones ópticas que nos brindan una gran capacidad de transferencia de datos bajo el agua y por último las comunicaciones por radio frecuencia (ondas electromagnéticas) que carecen de algunas propiedades pero que nos ofrecen mejores beneficios en comparación con las otras.

Las comunicaciones acústicas submarinas son las más utilizadas actualmente, desde monitoreo costero, aplicaciones industriales o ya sea para uso militar (F. Akyildiz, Pompili, & Melodia, 2005), este tipo de comunicación nos brinda una buena forma de comunicación bajo el agua (Liu, Zhou, & Cui, July 2008).

Pero este tipo de comunicación conlleva consigo ciertos inconvenientes como el bajo rendimiento en aguas poco profundas, ancho de banda limitado, atenuaciones al transmitir entre el agua y el aire, adversamente afectado por turbidez, ruido ambiental, salinidad y gradientes de presión que son propios del ambiente pero sobre todo tiene un gran impacto perjudicial en la vida marina (M.G. Gussen, y otros, 2016). Las comunicaciones acústicas son la tecnología típica de capa física en redes submarinas. (Chitre Shiraz Shahabudeen & Stojanovic, 2008)

Las ondas ópticas solo ofrecen un buen rendimiento en aguas muy claras y requieren una alineación estrecha de los nodos. El requisito de línea de visión cuando se utilizan comunicaciones ópticas ha impuesto una restricción, ya que la contaminación marina o el desarrollo de residuos propios del ambiente marino pueden obstruir la línea de visión impidiendo que la comunicación sea óptima y confiable. (Farr, Bowen, Ware, & Pontbriand, June 2010)

Por último tenemos las comunicaciones por radio frecuencia (ondas electromagnéticas), las cuales presentan el inconveniente que son de corto alcance, pero presentan una serie de beneficios que las otras comunicaciones no ofrecen (García, Sendra, Atenas, & Lloret, May 2014), este tipo de comunicación no se ve afectada por la turbidez del entorno, la salinidad y los gradientes de presión que normalmente son propios del ambiente marino, no la afectan como las otros tipos de comunicaciones, no es afectado por el ruido acústico, y nos presenta un ancho de banda de hasta 100 Mb/s a corta distancia, lo cual para ciertos tipos de aplicaciones se puede llegar a aprovechar fácilmente y desarrollar aplicaciones en base a este tipo de características, este tipo de comunicación no afecta la vida marina por lo que es explotable a la hora de poder trabajar con ella debajo del mar sin temor a causar inconvenientes en la zona donde se aplica. (Che, Wells, Dickers, Kear, & Gong, December 2010) Las comunicaciones por radio frecuencia (EM) en conjunto con la red de sensores aplicado a un sistema ROV haría posible la manipulación de una manera segura y eficaz, repasando todas las características que este tipo de comunicación nos ofrece, podemos observar que para aprovechar de mejor manera esta comunicación es ideal utilizar cortas distancias de transmisión, y en conjunto con la red de sensores ayudaría a optimizar.

(Sendra, Lloret, Jimenez, & J.P.C. Rodrigues, 2016). Una red inalámbrica de sensores consiste en una gran cantidad de pequeños dispositivos, autónomos, distribuidos físicamente, llamados nodos de sensores, instalados alrededor de un fenómeno para ser monitoreado, con la capacidad de almacenar y comunicar datos en una red en forma inalámbrica. (GUADALUPE, 2019))

La mayoría de los robots submarinos no tripulados comerciales están atados con cables y operados a distancia (YUH, Design and Control of Autonomous Underwater Robots: A Survey, 2000), es decir que mucha de la tecnología actualmente utilizada en los ambientes submarinos utilizan un cable umbilical el cual provee la conexión entre el ROV y el operador (YUH & WEST, Underwater robotics, 2011), los vehículos robóticos submarinos operados a distancia sin alambres pueden ser una solución en ambientes confinados bajo el agua en donde los cables umbilicales pueden ser elementos de obstrucción en la navegación y la operabilidad seguiría siendo remota. El problema principal en esta solución es la poca confiabilidad de la comunicación debido a la distancia y a los diversos factores involucrados bajo el agua (A. Moreno, y otros, 2014), por lo que la comunicación que mejor se adapta a esta problemática es la radio frecuencia (EM) en conjunto con la red de sensores.

La propuesta de este trabajo es adaptar un ROV(OpenROV), el cual cuenta con una estructura pequeña diseñada para hacer cómodo su transporte, cuenta con 3 motores thrusters (motores brushless), baterías de alimentación, cable umbilical y con un cilindro cerrado herméticamente el cual contiene una tarjeta tipo BeagleBone que se encarga de procesar los diferentes comandos que se le pueden aplicar junto con todos los diferentes dispositivos con los que cuenta el OpenROV.

Para adaptar el OpenROV a un tipo de comunicación por radio frecuencia es necesario abrir el cilindro herméticamente cerrado y poder manipular la tarjeta interna donde se realiza el proceso de manipulación, para abordar este problema se adaptara este sistema alámbrico (cable umbilical) a inalámbrico (radio frecuencia), es diseñando la comunicación por radio frecuencia en otro cilindro herméticamente cerrado el cual podremos configurar de la manera más óptima en conjunto con la red de sensores subacuáticos.

## Elementos propuestos

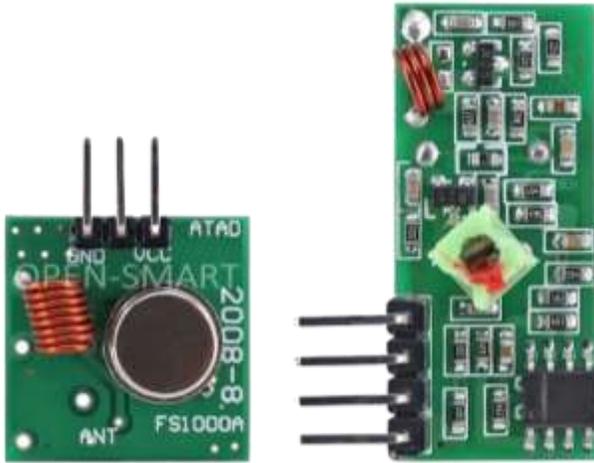
Al comprender las diferencias entre cada tipo de comunicación que se puede efectuar bajo el agua se puede llegar a analizar cuáles son las ventajas y las desventajas de cada una (Che, Wells, Dickers, Kear, & Gong, December 2010) nos explica en una tabla las diferencias entre cada tipo de comunicación. Las ventajas de la comunicación acústica es que es una tecnología probada con un alcance de hasta 20 km, con una eficiencia energética, navegación de precisión, con bajo tamaño. No obstante, no transita a través del agua al aire, pobres en aguas poco profundas y adversamente afectado por la aireación del agua, el ruido ambiental con propagación impredecible, su ancho de banda es limitado y con un impacto en la vida marina de manera que es detectable.

La comunicación óptica cuenta con ancho de banda ultra alto de hasta Gbps con un bajo costo, pero es susceptible a turbidez y partículas, y las propias del ambiente marino como son incrustaciones marinas en las caras de las lentes. La comunicación óptica necesita alineación ajustada a muy corto alcance, y como la comunicación acústica a esta también se le dificulta transitar a través del agua al aire.

La comunicación por radio frecuencia (EM) transita el límite a través del agua al aire, también transita el límite agua al fondo marino y la señal puede atravesar el hielo. No se ve afectado por la profundidad del agua y no se ve afectado por turbidez/burbujas, tiene un rendimiento sin línea de visión, inmune al ruido acústico, es inmune a las incrustaciones marinas. La comunicación por radio frecuencia tiene velocidades de datos de hasta 100 Mbps con una capacidad ágil de frecuencia, esta no se ve afectado por la ruta múltiple y no se conocen efectos en animales marinos. Pero la comunicación es susceptible a interferencias electromagnéticas y tiene rango limitado a través del agua. Al adaptar nuestro sistema ROV a comunicaciones por radio frecuencias se podrá emplear un tipo de sensores de bajo costo (módulos RF 433 MHz) los cuales funcionan de forma unidireccional (un solo sentido).

Los módulos RF de 433Mhz son muy populares por su bajo costo y fácil uso. Vienen en pareja, emisor (FS1000A) y receptor (XY-MK-5V), estos operan a una frecuencia de 433 MHz debido a que es una banda de uso libre (figura 1).

REYES-DE COSS, José Cuauhtémoc, RODRÍGUEZ-BLANCO, Marco Antonio y SÁNCHEZ-LARA, Rafael. Propuesta de un sistema de comunicación inalámbrico para una red de sensores bajo el agua en tiempo real aplicado a un sistema ROV. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2020



**Figura 1** Modulo RF 433 Mhz (emisor (Izquierda FS1000A) y receptor (Derecha XY-MK-5V)).

*Fuente: Arduino community.*

Estos módulos funcionan como transmisores en la red de sensores y como receptores en el ROV. Una vez establecido el tipo de sensores con el cual se trabaja en el interior del cilindro se pretende adaptar una tarjeta tipo Arduino UNO con las conexiones a los módulos RF 433 MHz (figura 2).

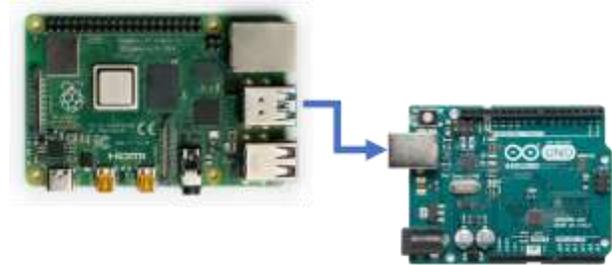


**Figura 2** Arduino UNO

*Fuente: Arduino community.*

La tarjeta Arduino UNO se encargara de recibir las ordenes de los transmisores (emisor FS1000A) de la red de sensores, la cual enviara las señales que nos permitirán manipular el ROV de manera inalámbrica en un ambiente controlado, el Arduino UNO se encargará también de elegir cual señal obedecerá todo esto dependiendo de la cercanía a la que esté de los nodos de la red de sensores. De esta manera podremos aprovechar y expandir el distancia de movimiento del ROV gracias a la red de sensores. En la parte de transmisión conectaremos la Raspberry Pi con el Arduino para controlar sensores transmisores haciendo que estos dos se comuniquen a través del puerto serie.

Podemos combinar las ventajas que ofrece Raspberry Pi en cuanto sistema operativo como controlador maestro con las ventajas que ofrece Arduino para controlar diferentes sensores como esclavo, y todo a través del puerto serie. Los nodos de los sensores transmisores que estarán bajo el agua recibirán de manera alámbrica las ordenes mediante un Arduino conectado vía serial a una Raspberry PI 4 modelo B. (figura 3)



**Figura 3** Arduino UNO conectado vía serial a Raspberry PI 4 model B

*Fuente: Elaboración propia*

La Raspberry Pi recibirá las ordenes de un mando con conexión vía Bluetooth que estaría previamente configurado y establecido hacia esta, aquí elegimos un control de Xbox ONE (figura 4) pero podría ser cualquier mando con Bluetooth que sea compatible con la Raspberry Pi, de modo que aprovecharemos la conexión Bluetooth de la Raspberry Pi.



**Figura 4** Mando Xbox ONE S

*Fuente: Microsoft Xbox*

La comunicación vía Raspberry Pi con Arduino UNO son previamente configuradas utilizando las librerías correspondientes para tener la correcta comunicación serial. Debido a que se propone establecer la comunicación en un nuevo cilindro, para poder manipular los motores thruster (motores brushless) se necesitan utilizar variadores de velocidad o ESC (Electronic Speed Controller) los cuales se encargan de definir la velocidad de giro del motor.

Debido a que la mayoría de los ESC giran en una sola dirección se optó por modificar el firmware de este para poder hacer posible el giro del motor en ambas direcciones, se utiliza un ESC de la marca HobbyKing de 20A UBEC (figura 6) que es uno de los más accesibles en el mercado.



**Figura 5** ESC 20A UBEC.  
 Fuente: HobbyKing.com

Para poder acceder al firmware y poder modificarlo utilizamos el programa KKmulticopter Flashtool en conjunto con una herramienta programadora Usbasp, accedamos al ESC con los pines que se encuentran en la parte posterior, este cuenta con 6 diferentes pines que son de forma ascendente: reset, +, -, sck, miso, mosi, que con los pines de la herramienta programadora deberemos mantener contacto en todo momento cuando se carga el nuevo firmware.

Se habilita la opción Reverse en el nuevo firmware y también se tiene la opción de colocar los parámetros con los cuales nuestro motor puede trabajar (Figura 6).

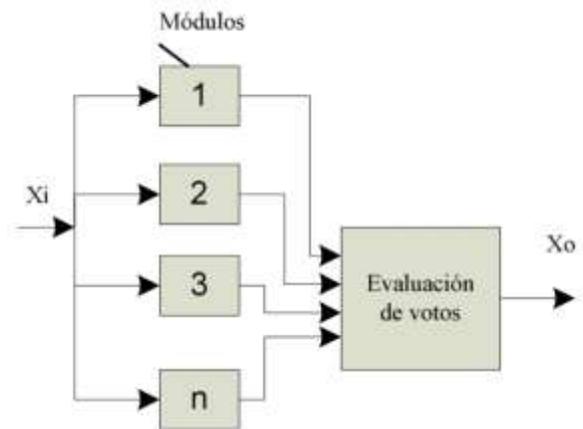


**Figura 6** KKmulticopter Flashtool parametros.  
 Fuente: Elaboración propia

**Sistemas redundantes a fallas**

En este trabajo se implementará también los sistemas redundantes a fallas para mejorar la confiabilidad de la comunicación. Existen dos enfoques básicos para tolerar fallos en el marco de referencia de redundancia física: *redundancia estática* y *redundancia dinámica*. (Rodríguez, Claudio, Theilliol, & Vela, 2007)

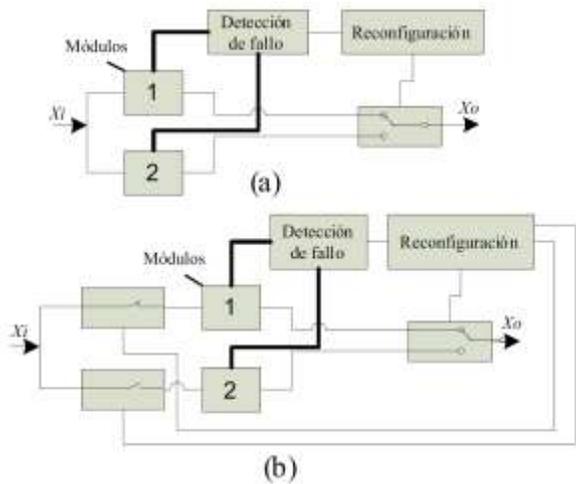
La *redundancia estática* utiliza “n” módulos activos con una misma señal de entrada y sus salidas se conectan a un evaluador de votos y se decide por mayoría si estas son correctas, dando como resultado el estado operacional de cada módulo (figura 7).



**Figura 7** Esquema tolerante a fallo con redundancia estática  
 Fuente: Inversor para un Motor de Inducción Trifásico Tolerante a Fallos: Análisis y Diseño

La *redundancia dinámica* requiere de pocos módulos redundantes para tolerar un fallo, pero a consecuencia de mayor costo y procesamiento de información. Existen dos tipos de unidades de respaldo: hot-standby (a) y cold-standby (b).

En la unidad hot-standby el módulo de respaldo se encuentra trabajando continuamente y en cold-standby el módulo de respaldo solo se activa cuando ocurre el fallo, lo cual evita el envejecimiento del módulo de respaldo, pero requiere de dos interruptores adicionales para la etapa de aislamiento eléctrico y reemplazo del elemento dañado (figura 8). Sin embargo, para ambas unidades de respaldo, la utilización de la etapa de detección de fallos es esencial.

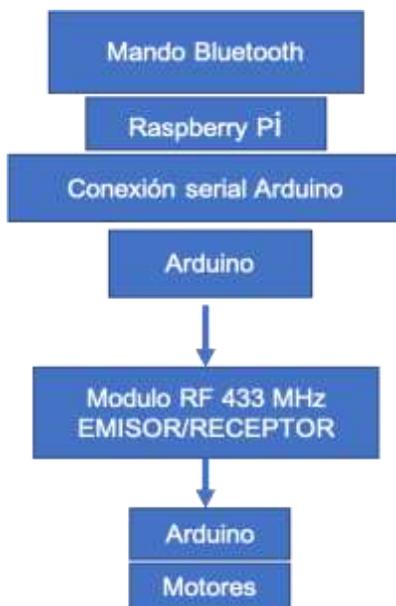


**Figura 8** Esquema tolerante a fallo con redundancia dinámica y unidad de respaldo tipo hot-standby (a) y cold-standby (b).

Fuente: *Inversor para un Motor de Inducción Trifásico Tolerante a Fallos: Análisis y Diseño*

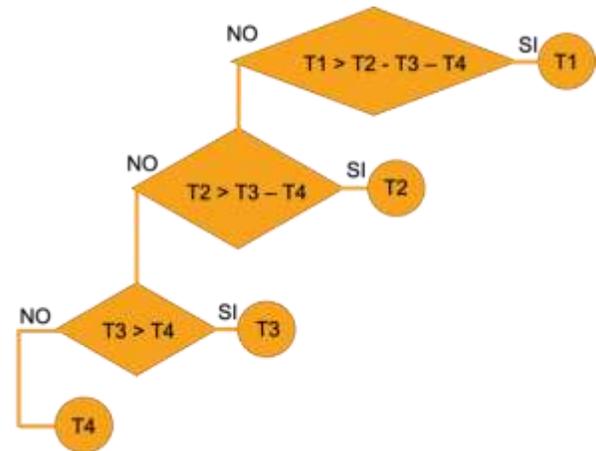
**Metodología**

La metodología por seguir será la que se muestra en el esquema.



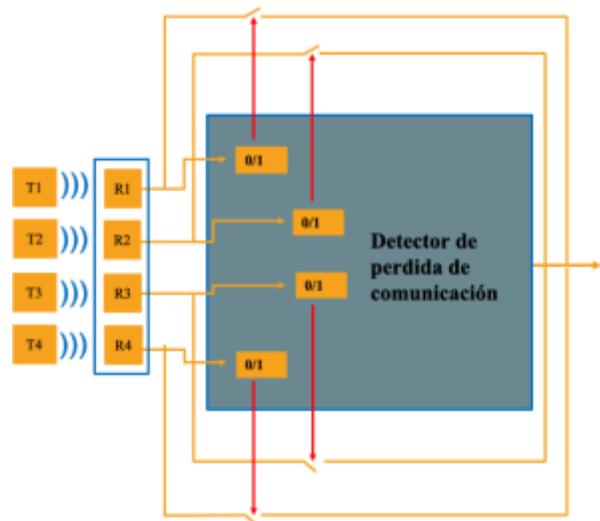
**Figura 9** Metodología de comunicación  
Fuente: *Elaboración Propia*

Todo esto implementado un sistema redundante a fallas donde la *redundancia estática* estará en la parte receptora dentro del Arduino en el cilindro, donde reforzaremos así y prevendremos pérdidas de señal en nuestro receptor, la *redundancia dinámica* estará en los nodos donde se aplicará redundancia tipo hot-standby ya que los nodos estarán siempre transmitiendo en todo momento, aplicando una selección de señal.



**Figura 10** Selección de señal (donde T es el transmisor  
Fuente: *Elaboración Propia*

En la figura 10 se observa que dependiendo de la señal y de la posición del ROV este nos dirá a cuál de los emisores el receptor deberá recibir la señal, para esto se propone implementar un medidor de intensidad de potencia inalámbrica en la Raspberry Pi utilizando el enfoque RSSI (Received Signal Strength Indicator). (Jais, y otros, 2016). Otra manera de seleccionar la señal con mayor potencia es por desconexión de comunicación natural, para ello se propone un Detector de Pérdida de Comunicación DPC. Tal como se muestra en la figura siguiente.

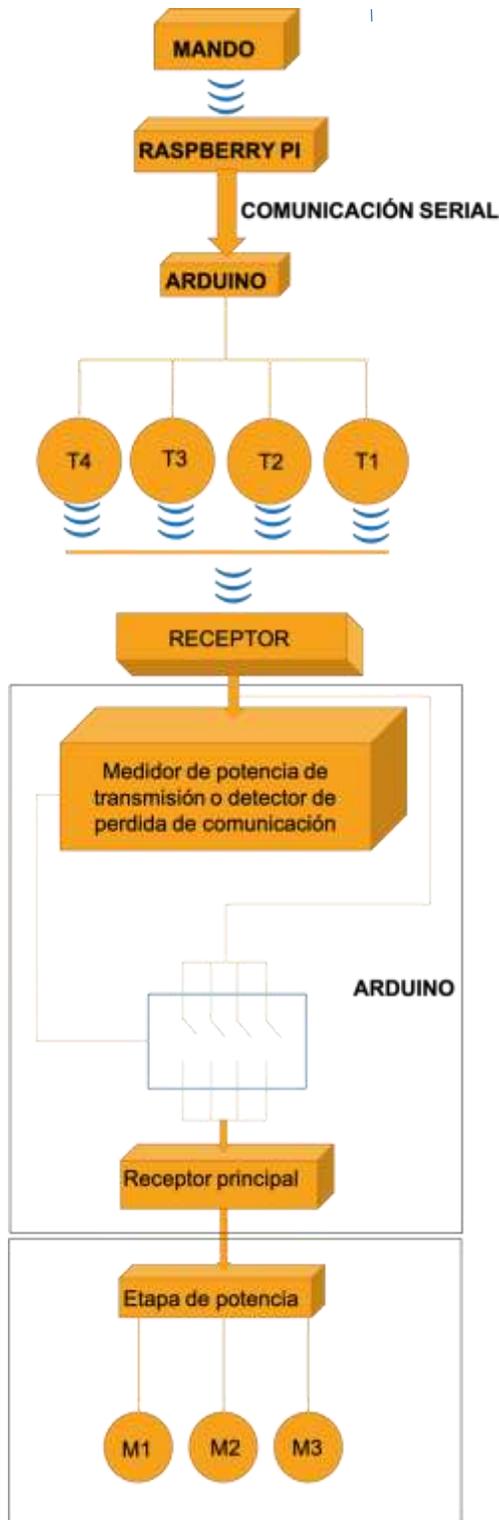


**Figura 11** Detector de pérdida de comunicación.  
Fuente: *Elaboración Propia*

En el esquema propuesto (figura 11), la señal más débil se desconectará por simple pérdida de comunicación, esta será detectada por el bloque “Detector de pérdida de comunicación” y conectara al transmisor inferior mediante elementos electromecánicos, si el transmisor seleccionado tiene una señal muy débil o la pérdida de esta, el bloque de decidirá conmutar al siguiente transmisor inferior.

Esta propuesta es muy simple y evita la utilización de un esquema medidor de potencia, pero agrega un esquema medidor de pérdida de transmisión lo cual es más fácil de implementar.

**Desarrollo de la señal**

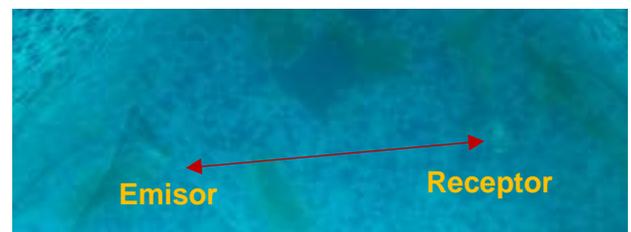


**Figura 14** Esquema de transmisión.  
Fuente: Elaboración Propia

En el esquema propuesto observamos que la señal del mando conectado vía Bluetooth manda la acción a la Raspberry Pi, la Raspberry Pi envía la acción recibida vía serial al Arduino a los transmisores que son los nodos bajo el agua, los nodos transmitirán la señal en cada uno de ellos y el receptor recibirá la señal de uno de ellos dependiendo la posición que se encuentre, los receptores enviaran la señal al Arduino que procesara la acción y activara la etapa de potencia habilitando los motores.

**Pruebas experimentales**

Los módulos RF 433 MHz han sido puestos a prueba dentro de unas boyas diseñadas y puestas bajo el agua para transmitir información, llegando a obtener una distancia de hasta 1.5m de transmisión, con una separación del fondo de 15 cm con el suelo y 30 cm con la pared, además que se hundieron a una profundidad de hasta 1.35 m, estas pruebas se realizaron con dos Arduino UNO enviando una serie de palabras.



**Figura 14** Comunicación entre dos Arduinos UNO con módulos RF433 Mhz  
Fuente: Elaboración Propia

Con esta prueba podemos observar que la transmisión de datos bajo el agua usando radio frecuencia es viable.

Se adaptará la comunicación entre la Raspberry Pi y el Arduino UNO para poder controlar los motores del OpenROV modificado, y se propone implementar ya sea el indicador de intensidad de señal recibida (RSSI) o el detector de pérdida de comunicación DPC, los cuales son una medida estimada de lo bien que un dispositivo puede escuchar, detectar y recibir señales de cualquier punto de acceso. Lo bueno de RSSI o DPC es que le ayuda a determinar y saber si una señal es suficiente para establecer una conexión inalámbrica.

## Agradecimiento

Este trabajo fue financiado por la Universidad Autónoma del Carmen UNACAR y por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT de México.

## Conclusiones

Como conclusiones se ha ondeado y puesto a prueba los módulos RF 433 MHz bajo el agua, y se obtuvieron buenos resultados transmitiendo información a distancia de 1.5 metros entre un emisor y receptor. Una de las problemáticas que se enfrenta esta propuesta es la interferencia de señales lo cual podría ser mejorado encriptando las señales de comunicación. Otra problemática encontrada es la complejidad del algoritmo del indicador de intensidad de señal recibida RSSI en una plataforma comercial accesible económicamente como lo es la Raspberry Pi, lo cual podría ser mejorado utilizando un algoritmo simple de detección de pérdida de comunicación DPC.

Con respecto a la *redundancia dinámica*, se recomienda utilizar elementos electromecánicos debido a que estos poseen mayor aislamiento de entrada para evitar interferencia, aunque su conmutación es más lenta, lo cual no es indispensable para esta operación.

## Referencias

A. Moreno, H., Salterén, R., Puglisi, L., Carrera, I., Cárdenas, P., & Álvarez, C. (2014). Robotica Submarina: Conceptos, Elementos, Modelado y Control. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 1-17.

Che, X., Wells, I., Dickers, G., Kear, P., & Gong, X. (December 2010). Re-Evaluation of RF Electromagnetic Communication in Underwater Sensor Networks. *IEEE Communications Magazine*, 143-151.

Chitre Shiraz Shahabudeen, M., & Stojanovic, M. (2008). Underwater Acoustic Communications and Networking: Recent Advances and Future Challenges. *Marine Technology Society Journal*, 103-116.

Liu, L., Zhou, S., & Cui, J.-H. (July 2008). Prospects and problems of wireless communication for underwater sensor networks. *Wiley InterScience*, 977-994.

F. Akyildiz, I., Pompili, D., & Melodia, T. (2005). Underwater acoustic sensor networks: research challenges. *Elsevier*, 257-279.

Farr, N., Bowen, A., Ware, J., & Pontbriand, C. (June 2010). An integrated, underwater optical /acoustic communication system. *IEEE Xplore*, 1-6.

Garcia, M., Sendra, S., Atenas, M., & Lloret, J. (May 2014). Underwater Wireless Ad-hoc Networks: a Survey. *ResearchGate*, 1-35.

Gkikopouli, A., Nikalakovoulos, G., & Manesis, S. (2012). A Survey on Underwater Wireless Sensor Networks and Applications. *20th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED)* (págs. 1147-1154). Barcelona, Spain: IEEE.

GUADALUPE, T. L. (2019). SISTEMA DE MONITOREO DE FACTORES AMBIENTALES EXTERNOS EN UNIDADES EDUCATIVAS CÉNTRICAS DEL CANTON PILLARO BASADO EN TECNOLOGIA LORA. 1-29.

Hurtado, J. C. (2020). Sistemas de adquisición y accionamientos inalámbricos utilizando hardware y dispositivos Android. (págs. 1-12). REVISTA CUBANA DE TRANSFORMACION DIGITAL.

Jais, M. I., Sabapathy, T., Jusoh, M., Ehkan, P., Murukesan, L., Ismail, I., & Ahmad, R. B. (2016). Received signal strength indication (RSSI) code assessment for wireless sensors network (WSN) deployed Raspberry-Pi. *2016 International Conference on Robotics, Automation and Sciences (ICORAS)* (págs. 1-3). Ayer Keroh, Malaysia: IEEE.

M.G. Gussen, C., S.R. Diniz, P., L. R. Campos, M., A. Martins, W., M. Costa, F., & N. Gois, J. (2016). A Survey of Underwater Wireless Communication Technologies. *JOURNAL OF COMMUNICATION AND INFORMATION SYSTEM*, 242-255.

Murad, M., A. Sheikh, A., Asif Manzoor, M., Felemban, E., & Qaisar, S. (February 2015). A Survey on Current Underwater Acoustic Sensor Network Applications. *International journal of computer theory and Engineering*, 51-56.

REYES-DE COSS, José Cuauhtémoc, RODRÍGUEZ-BLANCO, Marco Antonio y SÁNCHEZ-LARA, Rafael. Propuesta de un sistema de comunicación inalámbrico para una red de sensores bajo el agua en tiempo real aplicado a un sistema ROV. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2020

Partan, J. (2006). A Survey Of Practical Issues in Underwater Networks. *Computer Science Department Faculty Publication Series*, 1-10.

Rodriguez, M., Claudio, A., Theilliol, D., & Vela, L. (2007). Inversor para un Motor de Inducción Trifásico Tolerante a Fallos: Análisis y Diseño. *Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación(SAAEI)*, 284-289.

Sendra, S., Lloret, J., Jimenez, J., & J.P.C. Rodrigues, J. (2016). Underwater Communications for Video Surveillance System at 2.4 GHz. *Sensors*, 1-27.

Wells, I., Davies, A., Che, X., Kear, P., Dickers, G., Gong, X., & Rhodes, M. (2009). Node Pattern Simulation of an Undersea Sensor Network using RF Electromagnetic Communications. *IEEE*, 1-4.

YUH, J. (2000). Design and Control of Autonomous Underwater Robots: A Survey. *Kluwer Academic Publisher*, 7-24.

YUH, J., & WEST, M. (2011). Underwater robotics. *Advanced Robotics*, 609-639.

# Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

---

## [Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Autor†\*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2<sup>do</sup> Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3<sup>er</sup> Coautor

*Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)*

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1<sup>er</sup> Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1<sup>er</sup> Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1<sup>er</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1<sup>er</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2<sup>do</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2<sup>do</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3<sup>er</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3<sup>er</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

---

### Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos  
Metodología  
Contribución

**Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Español)**

### Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos  
Metodología  
Contribución

**Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Inglés)**

---

**Citación:** Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Ingeniería Tecnológica. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

---

---

\* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Artículo

## Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

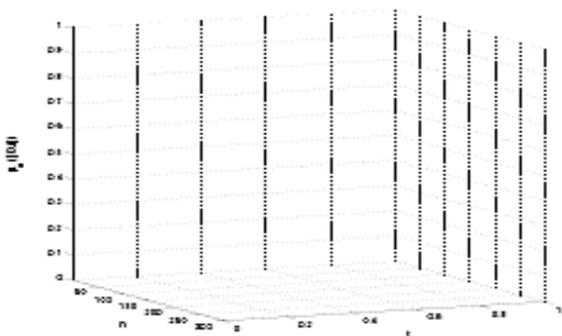
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

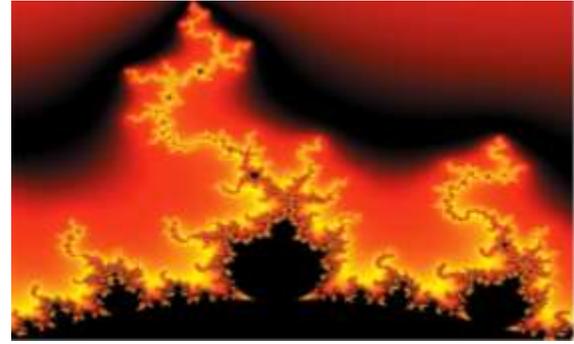
En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]



**Gráfico 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.



**Figura 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.


**Tabla 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Cada Artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Título secuencial.

**Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:**

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

## Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

## Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

## Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

## Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

## Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

## Referencias

Utilizar sistema APA. No deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Artículo.

Utilizar Alfabeto Romano, todas las referencias que ha utilizado deben estar en el Alfabeto romano, incluso si usted ha citado un Artículo, libro en cualquiera de los idiomas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (Inglés, Francés, Alemán, Chino, Ruso, Portugués, Italiano, Español, Árabe), debe escribir la referencia en escritura romana y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

## Ficha Técnica

Cada Artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

## Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

## **Reserva a la Política Editorial**

Revista de Ingeniería Tecnológica se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del Artículo.

## **Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales**

### **Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución**

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista de Ingeniería Tecnológica emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Taiwan considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

## Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-México, S.C en su Holding Taiwan para su Revista de Ingeniería Tecnológica, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título del Artículo:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

## Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

### Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre Artículos enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

### Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio al Artículo el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

### Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter el Artículo a evaluación.

### **Responsabilidades de los Autores**

Los Autores deben garantizar que sus Artículos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Artículos definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del Artículo presentado a arbitraje.

### **Servicios de Información**

#### **Indización - Bases y Repositorios**

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

#### **Servicios Editoriales**

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Artículo con PLAGSCAN

Evaluación de Artículo

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Artículo

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Traducción

Publicación de Obra

Certificado de Obra

Facturación por Servicio de Edición

#### **Política Editorial y Administración**

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org) [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**ECORFAN®**

**Editor en Jefe**

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

**Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

**Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

**Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

**Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

**Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

**Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

**Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

**Publicidad y Patrocinio**

(ECORFAN® Taiwan), [sponsorships@ecorfan.org](mailto:sponsorships@ecorfan.org)

**Licencias del Sitio**

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. [financingprograms@ecorfan.org](mailto:financingprograms@ecorfan.org)

**Oficinas de Gestión**

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán.

# Revista de Ingeniería Tecnológica

“Alarma inteligente para prevenir el robo de bicicletas en la Ciudad de Oaxaca  
**MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, JIMÉNEZ-ROCHA, Alejandra, HERNANDEZ-ABREGO, Anayansi Cristina y SÁNCHEZ-DIAZ, Clara Aurora**

*Instituto Tecnológico de Oaxaca*

“Prototipo para el análisis del crecimiento vehicular y de estaciones de monitoreo atmosférico”

**ROMO-GONZALEZ, Ana Eugenia & VILLALOBOS-ALONZO, María de los Ángeles**

*Universidad Tecnológica de Jalisco*

“Desarrollo de un sistema inalámbrico escalable de medición de humedad del suelo en un cultivo de vid”

**ORTEGA-CORRAL, César, EATON-GONZÁLEZ, B. Ricardo, LÓPEZ CRUZ, Florencio, DÍAZ-SANTANA ROCHA, Laura Rocío**

*Universidad Tecnológica de Tijuana*

“Propuesta de un sistema de comunicación inalámbrico para una red de sensores bajo el agua en tiempo real aplicado a un sistema ROV”

**REYES-DE COSS, José Cuauhtémoc, RODRÍGUEZ-BLANCO, Marco Antonio y SÁNCHEZ-LARA, Rafael**

*Universidad Autónoma del Carmen*

